Experimentelle Untersuchungen an den Schwärmern von Chromulina Rosanoffii (Bütschli).

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen philosophischen Fakultät der
Schlesischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Breslau

BIBLIOTHEEK RIJKS UNIV. LEIDEN

vorgelegt von

Erwin Bruck.

Promotion: Mittwoch, den 6. Juli 1921
mittags 12 Uhr in der Aula Leopoldina.

Vortrag:
Das Leuchten bei Tieren und Pflanzen.

HOCHSCHULVERLAG BRESLAU

Gedruckt mit Genehmigung der Hohen philosophischen Fakultät
der Schlesischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Breslau.

Referent: Herr Prof. Dr. Doflein.

Die mündliche Prüfung
hat am 11. Mai 1921 stattgefunden.

Alljährlich sind die Zementbottiche zweier Gewächshäuser des Botanischen Gartens zu Breslau an der Wasseroberfläche mit einer bronzeartigen, goldgelben Schicht bedeckt. Sie wird hervorgerufen durch die zu den Chrysomonaden gehörige Alge Chromulina Rosanoffii (Bütschli) s. Chromophyton Rosanoffii (Woronin). In gleicher Weise trat sie in den Gewächshäusern anderer Städte wie Leipzig, Prag und St. Petersburg auf, wo die Massenhaftigkeit ihres Vorkommens schon öfters Gelegenheit zu Untersuchungen geboten hatte. Nach A. Pascher (Die Süßwasserflora Deutschlands, Österreichs und der Schweiz, p. 15) ist sie im allgemeinen sehr verbreitet. In allen deutschen Mittelgebirgen kann man sie leicht beobachten (J. Buder: Die Goldglanzalge. Naturw. Wochenschr. 1916. p. 94). Ich selbst fand sie Anfang Oktober 1920 an einem kühlen Herbsttage im Fürstensteiner Grund bei Salzbrunn (i. Schl.) in einem kleinen Teich mit schwachem Zu- und Abfluß. Die Oberfläche besonders in der Mitte des Teiches war mit einer schwach lehmgelben, etwas goldbraunen staubartigen Schicht bedeckt. Eine mitgenommene Wasserprobe zeigte im Zimmer stehend nach einigen Tagen bronzeartige Flecke an der Oberfläche. Wie aus dem Referat von F. Moewes (Leuchtwasser in Japan. Naturw. Wochenschr. 1916. p. 92) über eine am Anfang des Krieges in Tokio erschienene Arbeit von M. Miyoshi: „Leuchtwasser und dessen Schutz in Japan“ zu entnehmen, ist Chromulina Rosanoffii auch in Japan weit verbreitet.

Die systematische Stellung der Alge.

Die systematische Stellung von Chromulina Rosanoffii unter den Chrysomonaden ist kurz folgende: F. Oltmanns (Morphologie und Biologie der Algen. Bd. I. p. 5) teilt nach G. Senn (Chrysomonadineae. Natürl. Pflanzenfamilien I. 1a. p. 153) die Chrysomonaden ein in: 1) Chromulinales mit einer apikalen Geißel (wohin Chromulina Rosanoffii gehört); 2) Hymenomonadaceae (Isochrysidales) mit zwei gleichen

apikalen Geißeln; 3) Ochromonadales mit zwei ungleichen apikalen Geißeln. Dagegen wird neuerdings von A. Pascher (Ueber Rhizopoden und Palmellastadien bei Flagellaten. Archiv f. Protistenkunde. Bd. 25. p. 198, und Süßwasserflora. p. 10) die gesamte Familie der Chrysomonaden nach der dominierenden Ausbildungsweise der Entwickelungsform folgendermaßen eingeteilt: 1) Euchrysomonadinae, eine Gruppe, bei der das bewegliche Monadenstadium vorherrscht, während Rhizopoden und Palmellastadien nur fakultativ auftreten; als deren Unterordnungen er die ältere Einteilung der gesamten Familie in Chromulinales, Isochrysidales und Ochromonadales annimmt; 2) Rhizochrysidinae, bei denen bis jetzt nur rhizopodiale Stadien bekannt sind; und 3) Chrysocapsinae, bei denen Palmellastadien vorherrschen und das bewegliche Monadenstadium nur fakultativ ist.

Biologie der Alge und bisherige physiologische Untersuchungen.

Unsere Alge wurde von M. Woronin im Sommer 1876 und im Herbste 1878 in der Umgebung von Wiborg in Finnland endeckt und nebst ihren Entwickelungsstadien genau untersucht, und wenige Jahre später (1880) mit einer größeren Anzahl Zeichnungen veröffentlicht (Botanische Zeitung 1880. p. 625 ff.). „Überträgt man", so heißt es (l. c. p. 627), „sorgfältig einen Tropfen des gelbbestaubten Wassers auf einen Objektträger. sodaß der Anflug vom Wasser unbenetzt bleibt, und untersucht man ihn dann unter dem Mikroskope — o h n e D e c k g l a s —, so. ersieht man, daß der Anflug aus einer Menge nicht unter, sondern a u f d e r W a s s e r f l ä c h e sich befindender, ü b e r d i e s e hervorragender eigentümlich gestalteter Körper sehr verschiedener Größe besteht. Die kleinsten derselben sind immer kugelrund und, wegen ihres scharfen, gewöhnlich sehr dunklen Umrisses, sehen sie kleinen Öltröpfchen oder in Wasser suspendierten Luftbläschen sehr ähnlich, unterscheiden sich aber von letzteren durch einen leichten, innen sitzenden gelblichen Schimmer. Die größeren Körper sind entweder auch kugelrund oder besitzen biscuit-, wurst- und perlschnurartige oder wurmförmige Gestalten." Diese größeren zusammenhängenden Massen entstehen dadurch, daß die einzelnen auf dem Wasser schwimmenden Körper zusammenstoßen und sich die schleimigen Hüllmassen vereinigen. Was sind nun die runden, auf der Oberfläche schwimmenden Körper? — Es sind assimilierende Ruhe-

stadien. — Legt man, wie es schon Woronin (l. c. p. 628) beschreibt, ein Deckglas auf den Wassertropfen, so kann man sehen, wie aus jedem dieser runden Körper ein, oder da in diesen Gebilden Teilungen vor sich gehen, mehrere Schwärmzellen durch Aufquellen der Grundmasse frei werden. Diese Schwärmzellen bestehen aus einer runden bis eiförmigen Plasmamasse, die sehr stark metabolisch ist. Die Länge der Schwärmzellen beträgt ungefähr 7—9 μ, ihre Breite 4—6 μ. Die vordere Hälfte, in der sich eine kontraktile Vakuole befindet, trägt den braunen Chromatophor. Ebenfalls vorn befindet sich die körperlange Geißel, die, sonst wegen ihrer außerordentlichen Feinheit nur schwach wahrnehmbar, bei Fixierung der Schwärmer mit Jod starr nach vorn gestreckt wird. Der hintere Teil der Schwärmer ist farblos. In ihm liegen eine Anzahl stark lichtbrechender, fettähnlicher Tröpfchen; sie treten allgemein bei den Chrysomonaden auf. G. Klebs (Flagellatenstudien II. Zeitschr. f. wiss. Zoologie. Bd. 55. p. 395) deutete sie als Assimilationsprodukt und benannte es Leukosin. — Wie nun diese im Wasser schwimmenden Schwärmer zu den oben beschriebenen auf der Wasseroberfläche sich befindenden Körpern werden, beschreibt Woronin in der wegen ihrer Anschaulichkeit oftmals citierten Stelle (l. c. p. 629) foldendermaßen: „Die Schwärmzelle rückt bis unter die Wasseroberfläche, an welche sie sich unmittelbar anlegt, kommt hier zur Ruhe, rundet sich dabei ab und fängt gleich darauf an, durch die Wasseroberfläche, als ob diese letztere eine feste Membran wäre, sich empor zu bohren. An der Berührungsstelle mit der Wasserfläche treibt sie einen kleinen, dunkelscharf conturierten stecknadelförmigen Fortsatz, der über die Wasserfläche in die Luft hervorragt! Indem nun dieser sich allmählich vergrößert, verringert sich gleichzeitig und in gleichem Maße der unter dem Wasser liegende Teil der Schwärmzelle, bis endlich diese letztere aus dem Wasser vollständig in die Luft hinüber gewandert ist.“ Während dieser Wanderung wird die oben erwähnte Schleimhülle abgeschieden, die nach unten in ein feines röhrenförmiges Stielchen übergeht, das ins Wasser ragt.

Der durch diese Ruhestadien hervorgerufene Goldglanz kann mitunter bei starker Vermehrung der Alge zu einer wahrhaft prächtigen Erscheinung werden, die besonders dann gut wahrzunehmen ist, wenn man auf die Wasserfläche von der Seite des einfallenden Lichtes her hinsieht, und um so intensiver ist, je kleiner der Winkel, unter dem man die

Wasseroberfläche betrachtet. H. Molisch (Über den Goldglanz von Chromophyton Rosanoffii Woronin. Sitzber. d. Math.-Naturw. Klasse d. Kais. Akad. d. Wiss. 1901. p. 359 ff. und: Leuchtende Pflanzen. p. 2—5), der Chromulina Rosanoffii in einem Gewächshause zu Prag fand, gibt für diese Leuchterscheinung die Erklärung: Die auf der Wasseroberfläche aufsitzenden kugelrunden Gebilde haben die Fähigkeit, sich bei einseitiger Beleuchtung so zu stellen, daß der einen Teil der Kugel auskleidende Chromatophor immer auf der dem Licht abgewendeten Seite zu liegen kommt. Die wie eine bikonvexe Linse wirkende Zelle konzentriert die parallel der Wasserfläche einfallenden Lichtstrahlen in dem Farbstoffträger, so daß er gleichsam selbstleuchtend das Licht wieder zurückwirft. Dreht man eine Schale mit dieser Chromulinahaut, die diesen Glanz zeigt, etwas, so verschwindet er zunächst, um nach einiger Zeit (ungefähr einer halben Stunde), wenn sich die Ruhestadien wieder nach dem Licht orientiert haben, wiederzukommen. Durch Zusammenwirken Tausender solcher reflektierender Körper wird der Goldglanz hervorgerufen. Die Erscheinung ist also analog der Reflexerscheinung, die von den gleichfalls linsenartig gestalteten Zellen des Vorkeims von Schistostega osmundacea Schimp. ausgeht. Hier wie dort wird durch die eigenartige Gestalt der Zellen jedenfalls der Pflanze ermöglicht, bei noch minimaler Lichtstärke in ausreichender Menge Kohlensäure zu assimilieren.

Der Farbstoff, den der Chromatophor von Chromulina Rosanoffii enthält, der im allgemeinen dem Diatomaceen-Farbstoff sehr ähnlich ist, wurde von G. Klebs (l. c. p. 395) Chrysochrom benannt. N. Gaidukov (Über das Chrysochrom. Berichte d. Deutsch. Botan. Ges. Bd. XVIII. p. 331—335), der Chromulina Rosanoffii in sehr reinen Schichten in den Kalthäusern des Botanischen Gartens zu St. Petersburg fand, extrahierte diesen Farbstoff durch Alkohol. Er zerlegte das Chrysochrom in die beiden alkohollöslichen Farbstoffe: Chrysochlorophyll und Chrysoxanthophyll, ferner in einen wasserlöslichen Farbstoff, den er Phycochrysin nannte, denn bei Chromulina ist in gleicher Weise wie bei Phaeophyceen, Rhodophyceen u. a. das Chlorophyll an einen wasserlöslichen Farbstoff gebunden, der dem Phycophäin, Phycoerythrin usw. entspricht.

Experimentelle physiologische Untersuchungen sind mit den Schwärmern von Chromulina Rosanoffii, vor allen Dingen wegen ihrer sehr geringen Größe, die dem Arbeiten mit ihnen große technische Schwierigkeiten in den Weg legt,

noch nicht angestellt worden (bis auf eine kurze Angabe über ihr Verhalten chemischen Einwirkungen gegenüber bei W. Pfeffer: Über chemotaktische Bewegungen von Bakterien, Flagellaten und Volvocineen. Untersuch. aus d. Botan. Inst. zu Tübingen. Bd. II. p. 597), obwohl doch gerade das Verhalten der Schwärmer unter experimentellen Bedingungen viel zur Erklärung der Biologie der Alge beitragen kann.

I. Wärmereize.

Verfertigt man sich ein Präparat lebender Schwärmer (am besten in der Weise, daß man ein Deckgläschen vorsichtig auf die Chromulinahaut legt und mit der Pinzette auf den Objektträger überträgt), so sieht man den größten Teil der Schwärmer in Bewegung, von denen aber nicht alle in Fortbewegung sind; viele pendeln mit der Geißel, an Deckglas oder Objektträger festgehaftet, lebhaft hin und her; ein kleiner Teil ist völlig bewegungslos. Das Bild ändert sich nun fortwährend: Die frei umherschwimmenden Schwärmer setzen sich fest und pendeln hin und her, hin- und herpendelnde werden plötzlich ganz bewegungslos oder sie lösen sich ab und schwimmen fort, und umgekehrt. Die frei umherschwimmenden, zumeist die nach der der Lichtquelle zugewandten Seite des Präparates eilenden Schwärmer bewegen sich streckenweise (100 μ und mehr) ganz gerade fort, ohne nach einer Seite abzuweichen. Diese letzte Eigenschaft hauptsächlich ermöglichte es mir, die Geschwindigkeiten der Schwärmer unter den mannigfachsten äußeren Umständen in sehr genauer Weise zu messen.

Es zeigte sich, daß an besonders warmen Tagen (bei 20°—21° Zimmertemperatur) die Zahl der frei umherschwimmenden Schwärmer besonders groß war, an kühleren dagegen die festsitzenden überwogen. Um diese Tatsache näher aufzuklären, wurde zunächst in nachstehenden Experimenten das Verhalten der Schwärmer bei Temperaturveränderungen und bei verschiedenen konstanten Temperaturen untersucht.*)

*) Zu sämtlichen Untersuchungen wurde das große Zeiß-Mikroskop mit Compens. Okular 12 und schwachem Objektiv (16 mm Brennweite), selten mit starkem (4 mm Brennweite) benutzt. Zur Beleuchtung diente eine 75 Watt = rund 100 HK Nitralampe. Zwischen ihr und dem Planspiegel des Mikroskopes befand sich eine mit schwacher Kupfersulfatlösung gefüllte Schusterkugel von 10 cm Durchmesser.

A. Versuche mit variierten Temperaturen.

Versuchsanordnung: Zur genauen Regulierung der Temperatur benutzte ich eine flache allseitig geschlossene Glasküvette, die auf den Objekttisch des Mikroskopes gelegt wurde; durch sie konnte man temperiertes Wasser hindurchfließen lassen, und so mittels eines in die Küvette hineinragenden Thermometers ständig die Temperatur des Wassers in der Küvette kontrollieren (Pfeifferscher Durchspülungsobjekttisch). Nach der oben beschriebenen Methode wurde das Deckglas auf die Chromulinahaut gebracht und vorsichtig auf zwei Glasfäden gelegt, die ihrerseits direkt auf der oberen Glasfläche der Küvette mittels Wachs festgeklebt waren. Die Schwärmer befanden sich also zwischen dem Deckglas und der temperierten Küvette in einem Raum, der durch die Glasfäden festgelegt war und daher beim Verdunsten des Wassers des Präparates nicht niedriger werden und die Bewegungen der Schwärmer behindern konnte. Diese Versuchsanordnung läßt ein exaktes Arbeiten in Bezug auf Temperaturregulierung zu. Die Versuche konnten nur selten über eine Stunde ausgedehnt werden, da das Wasser des Präparates dann oft bereits stark verdunstet war und so das Präparat für eine weitere Untersuchung unbrauchbar wurde. Ich entnahm fast täglich frisches Algenmaterial aus dem Gewächshaus, da ich so am ehesten zu den sich über einen längeren Zeitraum erstreckenden Versuchen möglichst gleichwertiges Material zu erhalten glaubte. Zunächst seien die einzelnen Versuchsprotokolle mit den dazu nötigen Angaben mitgeteilt. Sämtliche Versuche über Temperaturreize wurden in der Zeit von Mitte Juni bis Mitte Juli ausgeführt.

a) Versuche mit ansteigenden Temperaturen.

α) mit langsam ansteigenden.

Versuch 1. Die Ausgangstemperatur, d. h. Temp. der Kulturflüssigkeit, betrug 18°. (Alle Temperaturen wurden in Celsius gemessen). Versuchsdauer 55 Minuten. Im Durchschnitt (der wie bei sämtlichen folgenden Versuchen aus 8—10 Einzelbeobachtungen berechnet wurde) legten die Schwärmer in 1 Sekunde zurück:

bei 18° . 36 μ
„ 20°—21° 56 μ
„ 28° . . 74 μ
„ 30° 78 μ

Die Temperaturen, bei denen die Messungen stattfanden, wurden ungefähr 7—10 Minuten konstant erhalten.

Versuch 2. Dieser Versuch entsprach völlig Versuch 1 und ergab auch fast die gleichen Resultate. Ausgangstemp. 18°. Versuchsdauer 60 Minuten. Im Durchschnitt legten die Schwärmer in 1 Sekunde zurück:

bei 18° . . 34 μ
„ 21° . . 54 μ
„ 23° . . 66 μ
„ 28° . . 76 μ
„ 30° . . 77 μ

Der Versuch wurde abgebrochen, da das Präparat schon stark verdunstet war.

Versuch 3. Ausgangstemperatur 18°. Versuchsdauer 55 Minuten. Nachdem die Temperatur innerhalb von 8 Minuten von 18° auf 29° gestiegen, legten die Schwärmer in 1 Sekunde zurück:

bei 29° . . 75 μ
„ 31° . . 80 μ
„ 32° . . 79 μ
„ 33° . . 56 μ
„ 37° . . 34 μ (?)

Bei 37° waren die meisten Schwärmer bewegungslos, und da nur sehr wenige sich in Fortbewegung befanden, konnte die Geschwindigkeit bei 37° nur annähernd bestimmt werden. Als die Temperatur noch etwas (1—2 Grad) höher stieg, waren fast alle Schwärmer bewegungslos. Bei diesem Versuch sank bei 29° und 31° einige Male die Temperatur in etwa 1—2 Sekunden um höchstens 1 Grad, wobei deutlich wahrzunehmen war, daß selbst auf so minimale Abkühlung die Schwärmer schon reagierten, indem viele frei umherschwimmende sich festsetzten und viele hin- und herpendelnde ganz bewegungslos wurden.

Versuch 4. Ausgangstemperatur 18°. Versuchsdauer 30 Minuten. In ähnlicher Weise wie im vorhergehenden Versuch wurde die Temperatur innerhalb von 5 Minuten von 18° auf 28° erhöht. Die Schwärmer legten im Durchschnitt in 1 Sekunde zurück:

bei 28° . 75 μ
„ 30° . . 77 μ

Der Versuch mußte abgebrochen werden, da die Temperatur plötzlich hoch heraufschnellte.

Versuch 5. Ausgangstemperatur 18°. Versuchsdauer 40 Minuten. Die Temperatur wurde innerhalb von 5 Minuten von 18° auf 27° erhöht. Im Durchschnitt legten die Schwärmer in 1 Sekunde zurück:

bei 27° . . 76 µ
„ 30° . . 74 µ
„ 33° . . 56 µ
„ 34° . . 47 µ
„ 36° . . 38 µ

Bei 37° waren nur noch sehr vereinzelte Schwärmer in Fortbewegung zu sehen; eine Anzahl Schwärmer war bereits abgestorben.

Versuch 6. Ausgangstemperatur 18°. Versuchsdauer 60 Minuten. Die Temperatur wurde innerhalb von 3 Minuten von 18° auf 21° erhöht. Im Durchschnitt legten die Schwärmer in 1 Sekunde zurück:

bei 21° . . 52 µ
„ 25° . . 66 µ
„ 28° . . 73 µ
„ 31° . . 75 µ
„ 34° . . 56 µ (?)

Bei 34° hörte nach 2 Minuten jede Fortbewegung auf, so daß die Geschwindigkeit nicht wie in den anderen Fällen (siehe S. 6) bei 8—10 Individuen, sondern nur bei 2 Exemplaren gemessen werden konnte. Das Ergebnis für 34° kann daher keinen großen Anspruch auf Genauigkeit erheben. Viele Schwärmer begannen bei 34° bereits abzusterben. Bei 38° (50 Minuten nach Beginn des Versuches) ist nur noch bei vereinzelten Schwärmern ein schwaches Hin- und Herpendeln zu beobachten. Die Schwärmer erscheinen stark gelähmt und nicht mehr im Stande, sich loszureißen. Bei 42° (55 Minuten nach Versuchsbeginn) war der größte Teil der Schwärmer abgestorben; bei 46° (58 Minuten nach Versuchsbeginn) waren sämtliche Exemplare abgestorben.

Versuch 7. Um die zunehmende Beweglichkeit von Schwärmern, die infolge niederer Temperaturen bewegungslos geworden waren, bei steigender Temperatur zahlenmäßig festzustellen, wurde das Zahlenverhältnis zwischen den frei umherschwimmenden, den festsitzend hin- und herpendelnden und den ganz bewegungslosen Schwärmern bestimmt. In einem abgegrenzten Teil des Gesichtsfeldes wurde die Anzahl der drei sich verschieden verhaltenden Schwärmer in einem und demselben Zeitpunkt gezählt und aus mehreren (5—8)

solcher Zählungen der Durchschnitt in Prozenten ausgedrückt. — Ausgangstemperatur 18°. Versuchsdauer 50 Minuten. Die Temperatur wurde innerhalb von 6 Minuten von 18° auf 10° herabgesenkt. Es ergaben sich:

	für die frei umherschwimmenden	für die festsitzend hin- und herpendelnden	für die bewegungslosen
bei 10°	1,6%	10,7%	87,7%
„ 13°-14°	7,4%	20,6%	72%
„ 15°-16°	16,6%	32,4%	51%
„ 17°	17%	50%	33%

Bei 16°-17° war eine allgemeine größere Beweglichkeit der Schwärmer auffallend.

β) Versuche mit schnell ansteigenden Temperaturen.

Versuch 8. Ausgangstemperatur 18°. Versuchsdauer 8 Minuten. Die Temperatur wurde innerhalb von 5 Minuten von 18° auf 50° erhöht, wobei ich feststellen konnte, daß die Mehrzahl der Schwärmer noch kurze Zeit (bis 2 Minuten) am Leben blieb.

Versuch 9. Ausgangstemperatur 18°. Versuchsdauer 20 Minuten. (Diese Untersuchung wurde mit starkem Objektiv bezw. $^1/_{12}$ Öl-Immersion ausgeführt.) — Innerhalb der ersten fünf Minuten stieg die Temperatur von 18° auf 21°; am Ende der sechsten Minute war sie auf 26°, am Ende der siebenten auf 32° und am Ende der achten auf 37° gestiegen. Innerhalb der nächsten fünf Minuten stieg die Temperatur von 37° auf 51° und im Verlaufe der nächsten fünf Minuten von 51° auf 57°. —

Beim Ansteigen der Temperatur von 32°-37° war deutlich zu erkennen, daß die Zahl der hin- und herpendelnden stetig auf Kosten der ganz bewegungslosen, vor allem aber der frei umherschwimmenden Schwärmer stieg. Beim weiteren Steigen der Temperatur bis 40° pendelten sie mit großer Gewalt hin und her, sobald aber die Temperatur auf kurze Zeit (1-2 Sekunden) nur minimal ($^1/_2$ Grad) fiel, wurden sie augenblicklich bedeutend ruhiger. Bei 57°-58° starben alle Schwärmer ab. Zunächst wurden sie stark deformiert, indem in ihnen größere und kleinere Vakuolen auftraten und die Schwärmer stark, ungleichmäßig dehnten; in diesem Zustande pendelten sie zuerst noch schwach hin und her, und wo eben noch der Schwärmer zu sehen war, lag dann nur noch eine größere grüne Kugel (der Chromatophor) neben 3-4 kleineren weißen Kügelchen. Näheres ließ sich bei der Schnelligkeit des Vorganges nicht beobachten.

— —

b) Versuche mit sinkenden Temperaturen.

Versuch 10. Ausgangstemperatur 18°. Versuchsdauer 55 Minuten. Im Durchschnitt legten die Schwärmer in 1 Sekunde zurück:

bei 18° . . 34 μ
„ 16° . . 21 μ
„ 14°—13° 19 μ
„ 12°—11° 18 μ (?)

Bei 11° war der größte Teil der Schwärmer bewegungslos, so daß die Geschwindigkeit nur bei drei Exemplaren gemessen werden konnte und daher der Wert von 18 μ keinen Anspruch auf Genauigkeit erheben darf. Während bei allen vorhergehenden Versuchen, sowie auch bei diesem bei 18°-16° fast alle frei umherschwimmenden Schwärmer nach der der Lichtquelle zugewandten Seite des Präparates hineilten, schwammen bei 14°-13° einige und bei 12°-11° fast alle frei umherschwimmenden Schwärmer nach der der Lichtquelle abgewandten Seite des Präparates. Außer der Richtung der einfallenden Lichtstrahlen bestand zwischen den vier Seiten des Präparates keinerlei Verschiedenheit.

Versuch 11. Da sich im vorhergehenden Versuch zeigte, daß bei den niederen Temperaturen (von 13° an abwärts) die Beweglichkeit der Schwärmer immer mehr abnahm, wurde, um das Zahlenverhältnis zwischen den frei umherschwimmenden, den hin- und herpendelnden und den ganz bewegungslosen Schwärmern genauer zu bestimmen, nach der in Versuch 7 angewandten Methode das Verhältnis der drei sich verschieden verhaltenden Schwärmer in Prozenten ausgedrückt. — Ausgangstemperatur 18°. Versuchsdauer 40 Minuten. Die Temperatur wurde innerhalb 10 Minuten von 18° auf 13° herabgesenkt; es ergaben sich:

	für die frei umherschwimmenden	für die hin- und herpendelnden	für die bewegungslosen
bei 13°-12°	1,5%	23,5%	75%
„ 10°-9°	0,5%	10%	89,5%

c) Versuche mit steigenden und sinkenden Temperaturen.

Versuch 12. Ausgangstemperatur 18°. Versuchsdauer 65 Minuten. Im Durchschnitt legten die Schwärmer in 1 Sekunde zurück:

bei 20° . . 42 μ
„ 25° . . 60 μ
„ 30° . . 72 μ

Bei 31° sind fast alle Schwärmer bewegungslos; beim Fallen der Temperatur (25 Minuten nach Versuchsbeginn) tritt bei vielen wieder Fortbewegung auf, sie legten im Durchschnitt in 1 Sekunde zurück:

bei 25° . . 50 μ
„ 20° . . 44 μ

und als (40 Minuten nach Versuchsbeginn) die Temperatur wieder stieg,

bei 30° . . 67 μ
„ 33° . . 49 μ

60 Minuten nach Versuchsbeginn war die Temperatur bis auf 42° angestiegen. Bei 33° waren beinahe alle Schwärmer bewegungslos, nur nach längerem Suchen waren einige wenige frei umherschwimmende aufzufinden; bei 42° waren alle abgestorben.

Versuch 13. Ausgangstemperatur 20°. Versuchsdauer 85 Minuten. Im Durchschnitt legten die Schwärmer in 1 Sekunde zurück:

bei 20° . . 45 μ
„ 16° . . 25 μ
„ 14°-13° . 20 μ
„ 9°-8° . 10 μ

In gleicher Weise wie in Versuch 10 eilten auch hier bei den niederen Temperaturen (von 16° abwärts), je tiefer die Temperatur, um so mehr von den frei herumschwimmenden Schwärmern nach der der Lichtquelle abgewandten Seite des Präparates. Oft konnte man sehen (besonders bei 16°-15°), wie einige Schwärmer bald 10-20 μ weit zum Licht schwammen, dann aber umkehrten; die Richtung ihrer Bewegung erschien daher schwankend und unsicher. Bei den tieferen Temperaturen (15°-8°) eilten sie in ebenso geraden Bahnen, wie bei den höheren Temperaturen (von 18° aufwärts) nach der der Lichtquelle zugewandten Seite des Präparates, nach der entgegengesetzten Seite. Bei 8° waren nur noch sehr wenige Schwärmer in Fortbewegung zu sehen.

40 Minuten nach Versuchsbeginn wurde die Temperatur wieder erhöht; schon bei 13°-14° bewegten sich alle frei herumschwimmenden Schwärmer zum Licht. — Im Durchschnitt legten die Schwärmer in 1 Sekunde zurück:

bei 15° . . 38 μ
„ 16°-17° . 41 μ
„ 19° . . 54 μ
„ 25° . . 75 μ
„ 29°-30° . 43 μ

Bei 16°-17° waren die meisten Schwärmer in Bewegung; bei 29°-30° bewegten sich nur noch sehr wenige; bei 32° (75 Minuten nach Versuchsbeginn) war kaum ein frei herumschwimmender Schwärmer zu sehen; bei 35° (78 Minuten nach Versuchsbeginn) war keine Bewegung mehr vorhanden; bei 42° (82 Minuten nach Versuchsbeginn) der größte Teil der Schwärmer abgestorben.

B. Versuche mit konstanten Temperaturen.

a) mit konstanten hohen Temperaturen.

Versuch 14. Ausgangstemperatur 20°. Versuchsdauer 90 Minuten. Zu diesem wie zu den folgenden Versuchen benutzte ich Präparate, bei denen sich zwischen Deckglas und Objektträger in gleicher Weise wie bei den vorigen Versuchen mit der Küvette zwei Glasfäden befanden. Ein so hergestelltes Präparat wurde in eine kleine feuchte Kammer gelegt und diese in einen Thermostaten gestellt, dessen Temperatur im Innern 33°-34° betrug, und darin 35 Minuten stehen gelassen. Darauf wurde bei Zimmertemperatur (20°) unter dem Mikroskop untersucht, wobei sich zeigte, daß noch sämtliche Schwärmer lebten. Nach zwei Minuten (also 37 Minuten nach Versuchsbeginn) wurde das Präparat wieder in die feuchte Kammer und den Thermostaten gebracht, dessen Innentemperatur innerhalb 18 Minuten von 34° auf 40° stieg; bei dieser Temperatur blieb das Präparat 30 Minuten im Thermostaten. Alsdann bei Zimmertemperatur untersucht, zeigte es sich, daß ein Teil der Schwärmer bereits abgestorben und zerfallen war, die übrigen waren völlig bewegungslos; auch 5 Minuten später, nachdem das Präparat sich schon völlig abgekühlt hatte, war keinerlei Bewegung zu sehen.

Versuch 15. Dieser, sowie der nächste Versuch wurden in der Nuttalschen Kammer ausgeführt. Das Präparat selbst befand sich wie in den Versuchen 1-13 auf der schon oben beschriebenen Küvette, die hier aber nicht zur Temperaturregulierung, sondern lediglich nur dazu benutzt wurde, die effektive Temperatur des Präparates genauer bestimmen zu können; Zu- und Abflußöffnung der Küvette waren daher verschlossen. Ausgangstemperatur 20°. Versuchsdauer 60 Minuten. Die Lufttemperatur im Innern der Kammer betrug 35°, die Wassertemperatur der Küvette 30°. Diesen Temperaturen wurden die Schwärmer 60 Minuten ausgesetzt.

Am Schluß des Versuches war der größte Teil der Schwärmer noch lebendig. Die während des Versuches mehrmals gemessene Geschwindigkeit der frei umherschwimmenden Schwärmer betrug durchschnittlich in 1 Sekunde 53 μ-55 μ.

Versuch 16. Ausgangstemperatur 20°. Versuchsdauer 65 Minuten. Die Lufttemperatur im Innern der Kammer betrug 45°, die Wassertemperatur der Küvette 40°. Schon nach drei Minuten war kein frei umherschwimmender Schwärmer mehr im Präparat zu sehen, allmählich starben alle ab und zerfielen; nach 65 Minuten waren alle Schwärmer abgestorben.

b) Versuch mit konstanten tiefen Temperaturen.

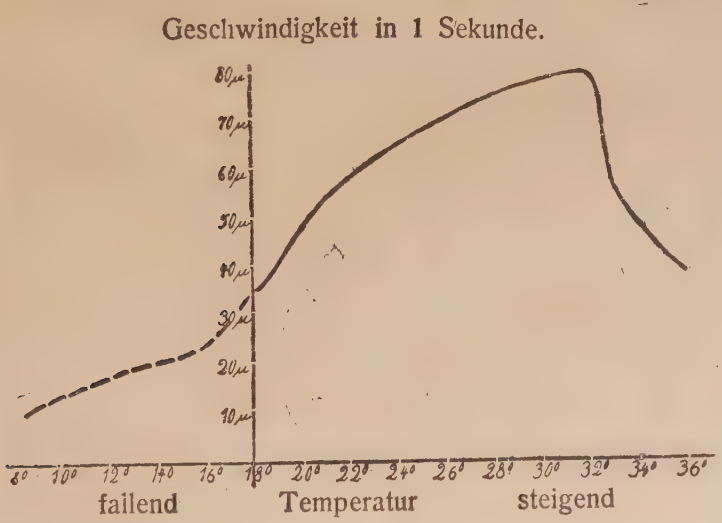
Versuch 17. Ein in gleicher Weise wie zu Versuch 14 verfertigtes Präparat wurde in eine kleine feuchte Kammer gelegt, in die ein Thermometer hineinragte. Die feuchte Kammer selbst wurde mittels einer Kältemischung abgekühlt.— Ausgangstemperatur 20°. Versuchsdauer 60 Minuten. — Am Ende der 10ten Minute nach Versuchsbeginn war die Temperatur auf 0° gesunken, am Ende der 15ten auf $-1^1/_2{}^0$ und hielt sich bis zum Ende der 50ten Minute nach Versuchsbeginn konstant zwischen $-1^1/_2{}^0$ und -2^0, um innerhalb der nächsten 5 Minuten wieder auf 0° zu steigen. Darauf wurde das Präparat bei Zimmertemperatur (20°) unter dem Mikroskop untersucht. In dem sich bald erwärmenden Präparat waren alle Schwärmer noch am Leben. Die Mehrzahl schwamm frei im Präparat herum, einige pendelten am Glase festgehaftet hin und her.

Aus den eben wiedergegebenen Messungen ist zunächst zu ersehen, daß die Geschwindigkeiten der Schwärmer bei steigender Temperatur bis zu einem bestimmten Temperaturgrade zunehmen, — was schon von C. Nägeli (Die Bewegung im Pflanzenreiche. Beiträge zur wissenschaftl. Botanik. II. p. 102) bei den Schwärmern von Tetraspora lubrica festgestellt worden war —, um von da aus rasch abzunehmen. Vergl. E. Straßburger (Wirkung des Lichtes und der Wärme auf Schwärmsporen. Jenaische Zeitschr. f. Naturwissensch. Bd. XII. p. 612). In gleicher Weise nimmt die Geschwindigkeit bei sinkenden Temperaturgraden ab. Betrachtet man die Ergebnisse der Versuche 1-6, 10 und 13, die der besseren Übersicht halber zu einer Tabelle (s. nächste Seite) zusammengestellt sind, näher, so findet man, daß die Ge-

Temp. in Celsius	Versuch Nr.											
	1	2	3	4	5	6	10	12			13	
37°			34?									
36°					38							
35°												
34°					47	56?						
33°			56		56					49		
32°			79									
31°			80			75						
30°	78	77		77	74			72		67		43
29°			75									
28°	74	76		75		73						
27°					76							
26°												
25°						66		60	50			75
24°												
23°		66										
22°												
21°	56	54				52						
20°								42*	44		45*	
19°												54
18°	36*	34*	*	*	*	*	34*					
17°												41
16°							21				25	
15°												38
14°							19				20	
13°												
12°							18?					
11°												
10°												
9°											10	
8°												

* Ausgangs-Temperatur.

schwindigkeit der Schwärmsporen in 1 Sekunde bei 18° (Zimmertemperatur) durchschnittlich 35 μ beträgt (vergl. Versuch 1, 2, 10); bei steigender Temperatur wächst die Geschwindigkeit und beträgt bei 21° ungefähr 54 μ (vergl. Versuch 1, 2, 6), bei 28° ungefähr 75 μ (vergl. Versuch 1, 2, 3, 4, 6), um zwischen 30° und 32° mit ungefähr 77-80 μ (vergl. Versuch 1, 2, 3, 4) die größte Geschwindigkeit zu erreichen (Temperaturoptimum). Von da an werden die Geschwindigkeiten wieder langsamer: bei 33° beträgt sie durchschnittlich nur noch 56 μ (vergl. Versuch 3, 5), bei 36° 38 μ (vergl. Versuch 5). — Zwischen 34° und 37° hört jegliche Fortbewegung auf (vergl. Versuch 3, 5, 6). — Bei sinkenden Temperaturgraden wird dementsprechend die Geschwindigkeit geringer; sie beträgt bei 16° durchschnittlich 23 μ (vergl. Versuch 10, 13), bei 14°-13° 19 μ (vergl. Versuch 10, 13) und bei 9°-8° nur noch 10 μ (vergl. Versuch 13); bei 9°-8° hört bald fast jede Fortbewegung auf. Diese Werte wurden nun in zwei Coordinatensysteme eingetragen, deren Abscissen die Temperatur in Celsius angeben und deren Ordinaten die Geschwindigkeiten in μ. (Fig. 1.)



(Fig. 1.)

Den so entstehenden Kurven entspricht völlig die von M. Verworn (Allgemeine Physiologie. p. 423) aufgestellte,

die im allgemeinen die Abhängigkeit der Intensität der Stoffwechselprozesse und Lebenserscheinungen von der Temperatur darlegt. Wie schon oben gesagt, hörte zwischen 34° und 37° jede Bewegung der Schwärmer auf und sie verfielen in Wärmestarre und starben teilweise ab, während sie bei konstant erhaltener Temperatur von 33°-34° größtenteils noch nach 35 bezw. 60 Minuten am Leben waren (vergl. Versuch 14, 15). In Versuch 15 und 16 ist zu berücksichtigen, daß die effektive Temperatur, der die Schwärmer ausgesetzt waren, zwischen der der Luft in der Nuttalschen Kammer und der des Wassers in der Küvette liegt. Da in Versuch 15 die Lufttemperatur der Kammer 35°, die Wassertemperatur der Küvette 30° betrug, ist anzunehmen, daß die effektive Temperatur, unter der sich die Schwärmer befanden, 33°-34° betrug, was auch mit den gemessenen Geschwindigkeiten von 53-55 μ gut im Einklang steht. In Versuch 16, bei dem die effektive Temperatur ungefähr 42°-43° war, starben die Schwärmer bald ab. In einem Versuch mit schnell ansteigender Temperatur konnten bei 50° noch nach 1-2 Minuten lebende Schwärmer konstatiert werden.

Es war bei keinem der Versuche, wie schon mehrfach angedeutet, ein bestimmter Temperaturpunkt zu finden, bei dem alle Schwärmer bewegungslos waren, ohne daß nicht auch eine Anzahl abgestorbener im Präparat zu sehen gewesen wäre. Gleiches sagt Straßburger (l. c. p. 612) von den Schwärmern von Haematococcus lacustris, von denen sich bei 50° ein Teil in Wärmestarre befand, der andere Teil aber schon durch diese Temperatur getötet wurde, „wie die beginnende Desorganisation ihres Körpers durch auftretende Vakuolen bewies." Dasselbe Kennzeichen, das auch mir den eintretenden Tod anzeigte. Überhaupt erwies es sich, daß die höheren Temperaturen für die Schwärmer weit schädlicher waren als die niederen, denen sie von Natur eher angepaßt sind. Bei 11°-8° sind beinahe alle Schwärmer in Kältestarre verfallen, doch ein Absterben von Individuen infolge der Kälte konnte hierbei niemals festgestellt werden. Eine Abkühlung von $-1^1/_2{}^0$ bis -2^0 auf die Dauer von einer halben Stunde hat auf sie gar keinen Einfluß; infolge ihres schnellen Erholungsvermögens sieht man sie bald, nachdem das Präparat wieder der Zimmertemperatur ausgesetzt worden war, lebhaft herumschwimmen.

Beim Sinken der Temperatur von 18° auf 8° haften sich immer mehr Schwärmer fest und vor allem werden die in Kältestarre verfallenden immer zahlreicher, bis schließlich

keine Bewegung mehr zu sehen ist (vergl. Versuch 10, 11, 13); beim Wiederansteigen der Temperatur (von 10° auf 18°) wird die Zahl der sich fortbewegenden Schwärmer, wie auch der hin- und herpendelnden auf Kosten der völlig bewegungslosen immer größer (vergl. Versuch 7). Straßburger (l. c. p. 612) erwähnt die gleiche Beobachtung bei Haematococcus-Schwärmern: „Gleichzeitig kann man feststellen, daß mit sinkender Temperatur die Neigung der Schwärmer, sich niederzusetzen, wächst. Viele der ruhenden fangen dann bei steigender Temperatur wieder sich zu bewegen an."

Die beiden Versuche 12 und 13 ergaben die beachtenswerte Tatsache, daß die Geschwindigkeit der Schwärmer bei einem bestimmten Temperaturgrad bedeutend größer ist, wenn er durch Ansteigen der Temperatur von einem tieferen Grade, als wenn er durch Sinken der Temperatur von einem höheren Zustande gekommen ist. So ist in Versuch 13 bei rund 16° die Geschwindigkeit um mehr als die Hälfte größer beim Steigen der Temperatur als vorher beim Fallen (41 μ gegenüber 25 μ). Das Temperaturoptimum wird bei weiterem Steigen schon bei 25° mit 75 μ erreicht, und bei 32° hört jegliche Bewegung auf.

Als das erregende Moment ist also nicht die absolute Temperatur, sondern der Wärmezuwachs erwiesen.

Während bei allen Beobachtungen bei Temperaturen über 17° fast alle Schwärmer nach der der Lichtquelle zugewandten Seite des Präparates hineilten, — was schon Woronin (l. c. p. 629) beobachtet hat —, schwamm bei sinkender Temperatur von 16°-14° ab ein immer größerer Prozentsatz der frei umherschwimmenden Schwärmer nach der der Lichtquelle abgewandten Seite, bei 9°-8° sogar alle Schwärmer, die sich noch frei bewegten (vergl. Versuch 10, 13). J. Massart (Recherches sur les organismes inférieurs [1] Buil. de l'Acad. Royale des sciences de Belgique 1891, p. 164), der sich zu seinen Untersuchungen unter anderem auch der Chromulina Woroniana (Fisch) bediente, berichtet nur kurz: „à 20° C., les Chromulina se rapprochent de la source de lumière; à 5° C., ils s'en éloignent." Die Resultate von Massart stimmen also im wesentlichen mit den meinigen überein. — Der Grund dafür, daß bei mir die Umkehr der Reaktion schon bei höheren Temperaturen, 16° bezw. 14°-13°, erfolgte, kann zunächst der sein, daß es sich nicht um dieselbe Spezies handelt; ferner, daß die Kulturen, in denen meine Algen gewachsen sind, relativ hohe Temperaturen (18° bezw.

20°) hatten. Straßburger erwähnt doch auch (l. c. p. 625), „daß bei einer gegebenen Helligkeit die an wärmeren Orten gezogenen Schwärmer bei sinkender Temperatur früher negativ werden (d. h. den von der Lichtquelle abgekehrten Rand des Präparates aufsuchen), als die an kälteren Orten gezogenen.“ Eine Bestätigung kann in den ein wenig von einander abweichenden Ergebnissen der Versuche 10 und 13 gesehen werden.

Ein ähnliches Verhalten bei niederen Temperaturen, wie das der Chromulina, zeigt Straßburger (l. c. p. 606) an den Haematococcus-Schwärmern, die sich bei 16°-18° C am positiven Rande des Tropfens ansammelten, aber auf den negativen übergeführt werden konnten, sobald das Präparat einer Temperatur von ungefähr 4° C ausgesetzt wurde.

Bemerkenswert ist auch, daß (bei Versuch 13) bei rund 13° C bei fallender Temperatur alle Schwärmer nach der der Lichtquelle abgewandten Seite des Präparates zueilten, bei steigender Temperatur jedoch bei dem gleichen Temperaturpunkte (13°-14°) sämtlich nach dem Lichte eilten. Es ist daher die umstimmende Wirkung nicht auf eine absolute Temperatur, sondern auf die Wärmeabnahme bezw. Zunahme zurückzuführen.

Eine Zunahme der Geschwindigkeit bei stärkerer Beleuchtung konnte ich niemals feststellen, eine Tatsache, die auch Nägeli (l. c. p. 102) und Straßburger (l. c. p. 577) angeben.

II. Lichtreize.

Den mikroskopischen Untersuchungen über die Einwirkung von Lichtreizen auf die Schwärmer möchte ich den Hinweis auf einige makroskopische Beobachtungen, die in ähnlicher Weise von F. Cohn (Über eine neue Gattung aus der Familie der Volvocineen. Zeitschr. f. wiss. Zoologie, Bd. IV. p. 111), A. Famintzin (Die Wirkung des Lichtes auf Algen und einige ihnen nahe verwandte Organismen. Jahrb. f. wiss. Botanik, Bd. VI. p. 20) und Straßburger (l. c. p. 583) gemacht wurden, vorausschicken; zumal ihre Ergebnisse in scheinbarem Widerspruch mit der Tatsache stehen, daß die Schwärmer nicht nur bei der gewöhnlich benutzten Lichtquelle sich stets positiv phototaktisch zeigten (bei einer Temperatur über 16°-18° C), wie soeben erwähnt, sondern auch bei sehr

starker künstlicher Beleuchtung (250 HK Lampe ungefähr 20–25 cm vom Präparat entfernt) diese Bewegungsrichtung beibehielten.

Sämtliche Versuche über Lichtreize wurden in der Zeit von Mitte Juli bis Anfang August ausgeführt.

Versuch 1. Eine $1^1/_2$ cm hohe ($5^1/_2$ cm lange und $4^1/_2$ cm breite) Glasschale wurde auf allen vier Seiten und am Boden außen mit schwarzem Papier beklebt, dann 1 cm hoch mit Wasser einer Algenkultur angefüllt und die die ganze Wasseroberfläche bedeckende Chromulinahaut durch vorsichtiges Umrühren völlig zum Verschwinden gebracht. Darauf wurde die Schale in gleicher Höhe mit einem nach Süden gelegenen Fenster, 20 cm von ihm entfernt aufgestellt und von der Fensterseite aus ungefähr um ein Drittel ihrer Länge mit schwarzer Pappe abgedeckt, sowie durch eine daraufgelegte Glasscheibe gegen eindringenden Staub geschützt. Der Versuch, der vormittags (zwischen 11 und 1 Uhr) ausgeführt wurde, fand in direktem Sonnenlichte statt. 20 Minuten nach Versuchsbeginn war im Halbschatten der Pappe ein gleichmäßig goldglänzender Streifen, dessen Breite genau der des Halbschattens entsprach, zu sehen; sonst zeigte sich nur im ganz unbeschatteten Teil ein schwacher Überzug. 65 Minuten nach Versuchsbeginn war im Kernschatten nur ein schwacher grauer Hauch zu sehen, der ganze übrige Teil der Wasseroberfläche war golden überzogen, und zwar am intensivsten im Halbschatten; an seiner Grenze zum Kernschatten war während des ganzen Versuchs der Goldglanz wie abgeschnitten, dagegen fand vom Halbschatten zum gänzlich unbeschatteten Teil ein ganz allmählicher Übergang statt. 95 Minuten nach Versuchsbeginn war das Resultat unverändert das gleiche geblieben.

Versuch 2. Dieser Versuch glich in Bezug auf Anordnung und Aufstellung völlig Versuch 1. Der Unterschied bestand nur darin, daß die Chromulinahaut möglichst vorsichtig aus der Kultur in die Glasschale übertragen und unversehrt gelassen wurde. 80 Minuten nach Versuchsbeginn war die zu Beginn des Versuches gleichmäßig goldglänzende Schicht im Kernschatten nur noch ganz schwach schimmernd. Im Halbschatten zeigte die Schicht starken Goldglanz, während sie im übrigen unbeschatteten Teil bedeutend schwächer ausgebildet war.

Versuch 1 und 2 zeigen ein völlig gleiches Schlußergebnis. Der einzige Unterschied wäre nur der, daß die größere

Ansammlung der Ruhestadien bezw. der von ihnen ausgehende Glanz im unbeschatteten Teil oder Halbschatten bei Versuch 1 schneller in Erscheinung tritt als bei Versuch 2, wie mir noch andere den beiden wiedergegebenen völlig identische Versuche bestätigten. Der Grund ist, daß in Versuch 1 von Anfang an nur sich frei im Wasser bewegende Schwärmer vorhanden sind, während es in Versuch 2 anfangs fast ausschließlich Ruhestadien sind, denen eine örtliche Umgruppierung nur durch Bildung der Schwärmer möglich ist, die ihrerseits dann wieder Ruhestadien bilden müssen.

Eine den Ergebnissen obiger Versuche analoge Erscheinung fand ich Mitte August unter natürlichen Verhältnissen wieder: In einem kleinen ovalen, auszementierten (6 m langen und $3^1/_2$ m breiten) Versuchsteich des Zoologischen Institutes zu Breslau stellte sich um den 15. August herum die Alge, vermutlich aus den Gewächshäusern eingeschleppt, ein; am 21. August war folgende, den obigen Versuchsergebnissen völlig entsprechende Erscheinung zu sehen: Der größte Teil der Wasseroberfläche, der von der Sonne direkt beschienen wurde, war mit einer schwachen grau-goldig schimmernden Schicht bedeckt. Im Schatten eines in der Mitte befindlichen überhängenden Steines und vor allen Dingen im Schatten der einen Teil des Teiches umgebenden Sträucher war die Wasseroberfläche goldmetallisch glänzend von einem geradezu prächtigen Aussehen.

Mit diesem Verhalten der Alge steht die Tatsache in Übereinstimmung, daß Chromulina Rosanoffii bei gedämpftem Licht am üppigsten gedeiht, womit auch ihr natürliches Vorkommen „in dämmrigen Klüften und Höhlen“ (J. Buder l. c. p. 95) engstens zusammenhängt. So erzielte Molisch (Leuchtende Pflanzen p. 5) die prächtigsten Kulturen bei „schwachem, seitlich einfallendem, diffusem Licht.“ Ich selbst fand, daß Kulturen in Glasgefäßen, die vom Westfenster in 70-80 cm Entfernung seitlich von ihm aufgestellt waren und daher nur schwaches, diffuses Licht erhielten, viel üppiger gediehen, als andere gleichzeitig angelegte, die in einem anderen Raum 50 cm vom Südfenster entfernt während mehrerer Stunden täglich direktem Sonnenlicht ausgesetzt waren, obwohl der letztere Raum immer eine um einige Grade höhere Temperatur hatte.

Die Tatsache, daß Chromulina Rosanoffii als Schattenpflanze bei diffusem Licht am besten gedeiht, in direktem Sonnenlicht aber nicht in gleichem Maße die für ihre Entwickelung günstigen Lebensbedingungen findet, erklärt allein

die Resultate obiger Versuche, die nicht etwa auf einer negativen Phototaxis der Schwärmer bei starker Beleuchtung beruhen. Denn, wie gesagt, erweisen sich die Schwärmer selbst bei starkem künstlichen Licht stets positiv phototaktisch. Wäre eine bei direktem Sonnenlicht vielleicht eintretende negative Phototaxis der Schwärmer die Ursache, dann müßte besonders in Versuch 1 die direkt vom Sonnenlicht bestrahlte Wasseroberfläche so gut wie gänzlich frei von neu gebildeten Ruhestadien sein, was aber keineswegs der Fall war.

Bei den weiteren, mikroskopischen Untersuchungen wurde in den zunächst angestellten Versuchen (3-8) nur Licht konstanter Intensität angewandt, während es in den späteren Versuchen teils dauernd variiert werden konnte, teils in verschiedener Stärke gleichzeitig auf das Präparat zur Einwirkung kam.

Versuche mit Licht konstanter Intensität.

Bei allen vorhergehenden mikroskopischen Untersuchungen konnte ich feststellen, daß die Mehrzahl der Schwärmer, sowohl der bewegungslosen, wie auch der hin- und herpendelnden und der frei umherschwimmenden, nicht oben am Deckglas, sondern unten auf dem Objektträger zu finden war. Daß diese Erscheinung allein auf das phototaktische Verhalten der Schwärmer gegen die hauptsächlich von unten, — vom Mikroskopspiegel her —, das Präparat treffenden Lichtstrahlen zurückzuführen ist (worauf auch Straßburger l. c. p. 579f. hinweist), sollen die folgenden Versuche beweisen. In ihnen wurden Schwärmer teils in gewöhnlichen Deckglaspräparaten, teils in offenen, auf dem Objektträger liegenden bezw. unten an ihm hängenden Tropfen entweder ausschließlich von oben beleuchtet oder nur von unten auf sie einfallenden Lichtstrahlen ausgesetzt.

Versuch 3. Bei dem hierzu benutzten Präparat wurde das Deckglas auf zwei 1 mm hohe, auf dem Objektträger festgeklebte Glasstreifen aufgelegt, so daß die Schwärmer einen 1 mm hohen Raum für ihre vertikalen Bewegungen zur Verfügung hatten. Ein so hergestelltes Präparat wurde auf das Fensterbrett eines Südfensters 25 cm von ihm entfernt hingelegt und den direkten Sonnenstrahlen ausgesetzt. 20 Minuten nach Versuchsbeginn wurden unter dem Mikroskop in diffusem Licht an verschiedenen Stellen des Präparates in einem abgegrenzten Raum des Gesichtsfeldes sowohl die oben am Deckglas vorhandenen Schwärmer, als auch die

unten am Objektträger gezählt, und aus einer Anzahl (8-10) solcher Zählungen das Verhältnis der am Deckglas befindlichen Schwärmer zu den unten am Objektträger in Prozenten ausgerechnet. Es befanden sich 97% oben am Deckglas und 3% unten am Objektträger.

Versuch 4. Ein in gleicher Weise wie bei Versuch 3 hergestelltes Präparat wurde auf den Objekttisch des Mikroskopes gelegt; das Mikroskop selbst war dicht in ein schwarzes Tuch eingehüllt, so daß das Präparat nur von unten durch den Spiegel des Mikroskopes beleuchtet werden konnte. 15 Minuten nach Versuchsbeginn waren von den Schwärmern 1% oben am Deckglas und 99% unten am Objektträger.

Versuch 5. Hierzu wurde ein folgendermaßen hergestelltes Präparat benutzt: auf einen Objektträger wurde ein Tropfen Kulturflüssigkeit mit etwas Chromulinahaut gebracht, die solange vorsichtig umgerührt wurde, bis alle Ruhestadien vernichtet waren und sich nur noch Schwärmer im Präparat befanden. Ein solches Präparat wurde ähnlich wie bei Versuch 3 auf das Fensterbrett des Südfensters gelegt und 20 Minuten nach Versuchsbeginn im diffusen Licht unter dem Mikroskop untersucht. Es befanden sich 98% Ruhezustände, in die sich die Schwärmer umgewandelt hatten, oben auf der Wasseroberfläche und 2% Schwärmer unten am Objektträger.

Versuch 6. Ein in gleicher Weise wie beim vorigen Versuche hergestelltes Präparat wurde ebenso wie bei Versuch 4 nur von unten beleuchtet. 15 Minuten nach Versuchsbeginn befanden sich 16% Ruhestadien oben auf der Wasseroberfläche und 84% Schwärmer unten am Objektträger.

Versuch 7. Ein in gleicher Weise wie bei den Versuchen 5 und 6 hergestelltes Präparat wurde in umgekehrter Lage, so daß der die Schwärmer enthaltende Flüssigkeitstropfen unten am Objektträger hing, auf die Ränder eines mit schwarzem Papier ausgelegten Uhrschälchens aufgelegt und wie bei den Versuchen 3 und 5 auf das Fensterbrett des Südfensters gelegt und 20 Minuten nach Versuchsbeginn im diffusen Licht unter dem Mikroskop untersucht. Es befanden sich oben am Objektträger 85% Schwärmer und unten auf der Wasseroberfläche des hängenden Tropfens 15% Ruhestadien.

Versuch 8. Ein ebenso wie im vorigen Versuch hergestelltes Präparat mit hängendem Tropfen wurde wie bei den Versuchen 4 und 6 nur von unten beleuchtet. 15 Minuten

nach Versuchsbeginn befanden sich 2% Schwärmer oben am Objektträger und 98% Ruhestadien auf der Wasseroberfläche des hängenden Tropfens.

Den Ergebnissen dieser Versuche entsprechend fand Nägeli (l. c. p. 103f.), daß sich von den Schwärmzellen der Algen Tetraspora lubrica und Ulothrix speciosa, wenn er sie unter dem Mikroskop zur Ruhe kommen ließ, die bei weitem größere Anzahl am Objektträger zur Ruhe setzte. Im Durchschnitt fand er bei einigen Beobachtungen an den Schwärmern von Tetraspora lubrica 92% am Objektträger und 8% am Deckglas bezw. 90-93% und 10-7%. Nägeli hielt schon das Licht allein für die Ursache dieser Erscheinungen. „Indessen wäre es zweitens auch möglich", — heißt es einige Zeilen weiter (l. c. p. 104) — „daß viele (Schwärmer) im Augenblick, wo sie zur Ruhe kommen, nicht hinreichend fest an dem oberen Glas adhärieren, und deswegen infolge ihres größeren specifischen Gewichtes zu Boden sinken." Er machte daher mit den Schwärmern von Tetraspora lubrica einen meinem Versuch 6 identischen Versuch und fand 90% Schwärmer am Objektträger und 10% an der Wasseroberfläche. Die Resultate dieser beiden Versuche lassen deutlich die Unmöglichkeit seiner Annahme erkennen; denn bestände sie zu Recht, dann dürften sowohl in Nägelis Versuch wie in meinem Versuch 6 nur vereinzelte Schwärmer am Objektträger zu finden sein.

Den Ergebnissen der Versuche 3, 4, 5 und 8, bei denen sich 97% bezw. 98% oder 99% Schwärmer auf der den einfallenden Lichtstrahlen zugewandten Seite befanden, stehen die Ergebnisse der Versuche 6 und 7 mit 84% bezw. 85% gewissermaßen entgegen. Zu deren Beurteilung ist es notwendig, das Verhalten der Schwärmer gegen die atmosphärische Luft, das noch später eingehender behandelt werden soll (siehe Kap. IV), schon hier kurz anzudeuten. Die Schwärmer von Chromulina Rosanoffii sind positiv aerotaktisch, d. h. sie suchen an die mit der Luft in Berührung stehende Wasseroberfläche zu gelangen. Dieses bei ihnen deutlich vorhandene Bestreben wirkt nur in den Versuchen 6 und 7 dem phototaktischen Verhalten der Schwärmer entgegen, während es bei den Versuchen 5 und 8 vielmehr das Ergebnis noch günstig beeinflußt und daher den höheren Prozentsatz von 98% ergab; in den Versuchen 3 und 4 war durch das Deckglas eine Einwirkung der atmosphärischen Luft auf die Ergebnisse überhaupt ausgeschlossen.

Versuche mit variierter Lichtintensität.

Zunächst folgen zwei Versuche, bei denen die benützte Lichtquelle willkürlichen Intensitätsschwankungen unterworfen wurde.

Versuch 9. Das Mikroskop wurde horizontal umgelegt und ein Schwärmerpräparat, dessen Deckglas mittels Wachsfüßchen erhöht festgeklebt war, wurde auf dem jetzt senkrechten Objekttisch befestigt. Die 100 HK Nitralampe wurde nun seitlich von ihm in 10-15 cm Entfernung aufgestellt. — Der allergrößte Teil der Schwärmer (doch nicht alle) eilten nach der der Lichtquelle zugewandten Seite des Präparates, gewöhnlich aber nicht in Bahnen, die den einfallenden Lichtstrahlen parallel waren, sondern meist etwas schräg nach oben (im mikroskopischen Bilde nach unten). Wurde nun die Intensität des Lichtes verringert, z. B. dadurch, daß das Licht der Lampe durch Vorschalten eines Rheostaten von 25 Ohm abgeschwächt wurde, so wurden einen Augenblick lang die Bewegungen der Schwärmer schwankend, bald darauf war die Bewegungsrichtung fast sämtlicher Schwärmer nach oben gerichtet; doch schon nach Ablauf von 2-3 Minuten eilte eine dauernd wachsende Anzahl Schwärmer, schließlich der größte Teil aller frei im Präparat umherschwimmenden, genau wie vorhin zu der jetzt abgeschwächten Lichtquelle. Wird nach wenigen Minuten die ursprüngliche Lichtintensität wieder eingeschaltet, so tritt keinerlei Veränderung weder in der Art noch in der Richtung der Bewegung der Schwärmer ein.

Versuch 10. Dieser Versuch wurde gleich dem vorherigen in der Dunkelkammer ausgeführt; das Mikroskop außerdem wie in Versuch 4, 6 und 8 in ein schwarzes Tuch eingehüllt In gleicher Weise wie in den Versuchen 3 und 4 wurde das Deckglas auf zwei 1 mm hohe, auf dem Objektträger festgeklebte Glasstreifen aufgelegt. Zur Beleuchtung diente in üblicher Weise die 100 HK Nitralampe. — Wenige (5—7) Minuten nach Versuchsbeginn haben sich fast alle Schwärmer am Objektträger (vergl. Versuch 4), und zwar vor allen Dingen in der am hellsten beleuchteten Mitte versammelt; hier haben sich die meisten festgeheftet und pendeln lebhaft hin und her. Wurde nun die Intensität des das Präparat treffenden Lichtes verringert, sei es wie im vorigen Versuch durch Vorschalten eines Rheostaten, sei es durch Zwischenhalten einer Scheibe Rauchglas zwischen Spiegel und Kondensor des Mikroskopes, so lösten sich

sämtliche unten festhaftenden Schwärmer los, und sie selbst sowie die übrigen noch frei herumschwimmenden kamen in Massen an das Deckglas herauf, um bei Wiedereinstellung der vollen Lichtintensität (was innerhalb von 3 Minuten geschehen mußte) sofort wieder bis auf ganz vereinzelte nach unten zum Objektträger zurückzukehren. Währte die Abschwächung des Lichtes länger als 3 Minuten, so schwamm eine dauernd zunehmende Anzahl Schwärmer allmählich nach unten; wurde jetzt die volle Lichtintensität wiederhergestellt, so eilten sofort die noch übrigen sich oben am Deckglas befindenden Schwärmer nach dem Objektträger herunter. Diese Erscheinung des Herauf- bezw. Herabsteigens der Schwärmer läßt sich sehr gut mit stärkerer Vergrößerung beobachten. Wenn man zunächst das Mikroskop auf die Schicht direkt über dem Objektträger scharf einstellt, so sieht man deutlich, wie bei allmählicher Abschwächung der Lichtintensität die Schwärmer lebhafter werden und sich eine immer größere Anzahl ablöst, um nach oben zu verschwinden, während andererseits bei Zunahme der Lichtintensität die Schwärmer wieder von oben ankommen und sich gleichsam einen passenden Platz aussuchend einige Sekunden umherschwimmen, um sich schließlich bald festzusetzen; die wenigen noch unten gebliebenen hin- und herpendelnden Schwärmer werden gleichfalls sofort ruhiger. Betrachtet man dagegen die Schicht direkt unter dem Deckglas genau, so sieht man bei Abnahme der Lichtintensität die Schwärmer oben ankommen, um sich bei deren Zunahme sofort gleichsam in die Tiefe zu stürzen.

Die beiden Versuche (9 und 10) zeigen zunächst noch einmal das starke positiv phototaktische Verhalten der Schwärmer in voller Deutlichkeit. Während in diesen beiden Versuchen eine Beeinflussung durch die Einwirkung der atmosphärischen Luft ausgeschlossen war, muß die geotaktische Eigenschaft der Schwärmer, auf die im folgenden Kapitel noch näher eingegangen werden soll, mit in Rechnung gezogen werden. Die Schwärmer sind im allgemeinen negativ geotaktisch, d. h. sie suchen der Schwerkraft entgegen nach oben zu schwimmen. Infolgedessen gehen sie in Versuch 9 nicht parallel den einfallenden Lichtstrahlen auf die Lichtquelle zu, sondern, wie erwähnt, schräg nach oben, gewissermaßen in der Resultierenden der beiden Kräfte. Die Wirkung der Geotaxis macht sich ferner in den Versuchen 9 und 10 besonders nach Abschwächung der Lichtintensität bemerkbar.

Versuch 11. Um innerhalb eines kleinen Raumes im Präparat einen möglichst starken Kontrast der Lichtintensität zu erzeugen, beabsichtigte ich (ähnlich Th. W. Engelmann: Die Purpurbakterien und ihre Beziehungen zum Licht. Botan. Zeitung 1888. p. 667) in einem fast völlig dunklen Gesichtsfelde einen grell beleuchteten Fleck zu schaffen. Ich meinerseits ordnete den Versuch folgendermaßen an: Vermöge einer aus schwarzem Papier verfertigten Blende (Öffnung 0,17 mm im Durchmesser), die ich auf dem Objekttisch dicht unter dem Präparat anbrachte, war es möglich, in der Mitte des dunklen Gesichtsfeldes einen hell erleuchteten runden Fleck zu erhalten. — Ebenso wie die beiden vorigen Versuche wurde dieser in der Dunkelkammer ausgeführt und war das Mikroskop in ein schwarzes Tuch eingehüllt. — Wenige (5-6) Minuten nach Versuchsbeginn ist der Lichtfleck dicht mit Schwärmern angefüllt; von allen Seiten sieht man noch einige (da in einiger Entfernung — ungefähr 80 μ — vom Rande des Lichtfleckes entfernt die Schwärmer schon als leuchtende Punkte sichtbar sind) dauernd in ihn hineinschwimmen; die Ansammlung der Schwärmer im Lichtfleck wird daher beständig größer, und zwar ist sie an der allerhellsten Stelle (da, wo das Bild des Fadens der Glühbirne schwach sichtbar wird) am stärksten. Die meisten Schwärmer setzen sich im Lichtfleck fest, nur wenige sind in Fortbewegung, vereinzelte davon schwimmen sogar ins Dunkle. Während ein Teil der letzteren völlig im Dunklen verschwindet, setzen sich andere 40-80 μ weit vom Rande des Lichtfleckes entfernt auf einige Sekunden fest, um entweder unmittelbar ins Helle zurückzukehren oder sich erst vorher 80-160 μ weit in einer dem Rande des Lichtfleckes parallelen Bahn fortzubewegen, zum Teil auch ebenfalls im Dunklen zu verschwinden. — Bringt man durch Verschieben des Präparates eine Stelle mit nur wenigen Schwärmern in den Lichtfleck, so sieht man sie sofort von allen Seiten auf ihn zu und in ihn hineineilen. Nach Verdunkelung von 2-3 Minuten ist die Anhäufung im Lichtfleck verschwunden und haben sich die Schwärmer gleichmäßig über das ganze Präparat verteilt. Bei Wiederherstellung des Lichtfleckes strömen sie sofort wieder von allen Seiten herbei und nach wenigen (4-5) Minuten ist die Ansammlung wieder wie vorher vorhanden.

Wie aus den Ergebnissen dieser letzten drei Versuche zu entnehmen, wirkt der von einer Lichtquelle ausgehende Reiz auf die Schwärmer in doppelter Art: wie schon hervorgehoben, als ausgesprochener Richtungsreiz, ferner als ein

lähmender Reiz. Beweis dafür ist zunächst die Tatsache, daß bei Zimmertemperatur (18°-20°) nur im Dunkeln sämtliche Schwärmer im Präparat sich in Fortbewegung befinden, worauf auch Straßburger (l. c. p. 603) hinweist: „Im Dunkeln bleiben die Schwärmer (von Haematococcus lacustris) in Bewegung, sie kommen nicht zur Ruhe, es sei denn, daß sie absterben"; weiterhin, daß bei Zunahme der Lichtintensität die umherschwimmenden Schwärmer sich festsetzen und hin- und herpendeln, die pendelnden in ihren Bewegungen ruhiger und schließlich bewegungslos werden, bei Abnahme der Lichtintensität umgekehrt (vergl. Versuch 10), eine der Wärme- bezw. Kältestarre, die bei hohen und tiefen Temperaturen eintritt (siehe Kapitel I), analoge Erscheinung. Vergl. Straßburger (l. c. p. 624): „Steigerung der Lichtintensität ruft in den phototaktischen Schwärmern meist eine Neigung zum Festsetzen hervor." „Verminderung der Lichtintensität erhöht deren Beweglichkeit." — In dieser doppelten Weise wirkt der von der Lichtquelle ausgehende Reiz aber nur dann, wenn sie konstant bleibt; läßt ihre Intensität nach, so fällt der die Bewegungsrichtung bezw. die Lähmung auslösende Reiz für die an die höhere Lichtintensität gestimmten Schwärmer zunächst fort, bis nach wenigen Minuten die geringere Lichintensität wieder die gleiche Wirkung auszuüben vermag. Vergl. hierzu J. Loeb (Der Heliotropismus der Tiere. p. 109): „Das Licht wirkt bei konstanter Intensität dauernd als heliotropische Reizursache auf Tiere, wie auf die Pflanzen." Es handelt sich daher bei der Änderung der Bewegungsrichtung der Schwärmer bei Abschwächung der Lichtintensität in den Versuchen 9 und 10, sowie bei der Ansammlung im Lichtfleck in Versuch 11 keineswegs um eine Schreckreaktion, wie sie von Engelmann (l. c. p. 667f.) bei Purpurbakterien gefunden wurde. Denn dort geraten die Bakterien zufällig in den Lichtfleck hinein, in dem sie, wie gefangen, eingeschlossen bleiben, da sie bei dem Versuch, die Grenze vom Hellen zum Dunklen zu überschreiten, zurückschrecken, während bei meinem Versuch 11 die Schwärmer von allen Seiten nach dem Lichtfleck hinsteuern und nur durch die erfolgte Lähmung verhindert werden, ihn zu verlassen; nicht gelähmte Individuen überschreiten die Grenze, ohne von ihrer geraden Bewegungsrichtung irgendwie abgelenkt zu werden. Ebenso ist in den Versuchen 9 und 10 die Änderung der Bewegungsrichtung bei Abschwächung der Lichtintensität nicht auf eine Schreckreaktion zurückzuführen, sondern lediglich auf die negative Geotaxis, die

dem zunächst schwächer gewordenen Lichtreiz gegenüber stärker in Wirkung zu treten vermag.

III. Schwerkraftreize.

Im folgenden galt es, den Einfluß der Schwerkraft, der schon in manchen Versuchen des vorigen Kapitels zur Geltung kam, genauer zu erforschen.

Sämtliche Untersuchungen wurden, um die Einwirkung der die Bewegungsrichtung beeinflussenden Lichtstrahlen möglichst auszuschalten, in der Dunkelkammer ausgeführt, wobei als Lichtquelle für die zeitweisen Beobachtungen eine rote Glühbirne von 16 HK diente. — Zeitpunkt: Mitte August.

A. Versuche unter Zimmertemperatur (18°-19°).

Versuch 1. Ein Präparat, dessen Deckglas auf zwei 1 mm hohen auf dem Objektträger aufgeklebten Glasstreifen auflag, wurde eine Stunde lang im Dunkeln liegen gelassen und dann bei schwachem roten Licht unter dem Mikroskop beobachtet. Der allergrößte Teil der Schwärmer bewegte sich in dichtem Gewimmel direkt unter dem Deckglas, nur wenige befanden sich unten auf dem Objektträger. In gleicher Weise wie in den Versuchen 3-8 des vorigen Kapitels berechnete ich die Prozente der am Deckglas bezw. am Objektträger sich befindenden Schwärmer. Es befanden sich 91% am Deckglas und 9% am Objektträger unten.

Versuch 2. Ein Präparat, dessen Deckglas mittels Wachsfüßchen auf dem Objektträger erhöht festgeklebt war, wurde im horizontalen Mikroskop auf dem jetzt vertikalen Objekttisch befestigt. — Man sieht sofort alle frei umherschwimmenden Schwärmer in mehr oder weniger geraden Bahnen nach oben (im mikroskopischen Gesichtsfeld unten) eilen, einige haften sich am Glase fest, lösen sich aber bald wieder los. Fünf Minuten nach Versuchsbeginn wurde auch die als Lichtquelle dienende rote Glühlampe ausgeschaltet und das Präparat eine Stunde lang in völliger Dunkelheit sich selbst überlassen; dann wieder bei schwachem roten Licht betrachtet. — Die Hauptmenge der Schwärmer befand sich im oberen Drittel des Präparates; an den beiden seitlichen Kanten ist eine ansehnliche Ansammlung von Schwärmern

vorhanden, am oberen Rande ein sehr starkes Gewimmel von unzähligen Schwärmern, das auch makroskopisch als breiter gelber Saum sichtbar ist. Am unteren Rand, wie überhaupt in den mittleren Zonen des unteren Teiles des Präparates sind nur wenig frei umherschwimmende Schwärmer, höchstens einige festsitzende zu finden. Nach weiteren 30 Minuten hat sich das Resultat nur insofern verändert, als die Ansammlung am oberen Rande sich auf Kosten der noch übrigen im Präparat vorhandenen Schwärmer noch weiter verdichtet hatte.

Versuch 3. Nach der gleichen Methode, die Massart (l. c. p. 160 ff.) zur Untersuchung des Schwerkraftreizes bei Bakterien und Flagellaten und R. Aderhold (Beitrag zur Kenntnis richtender Kräfte bei der Bewegung niederer Organismen. Jenaische Zeitschr. f. Naturwissensch. Bd. 22. p. 318) bei Euglena anwandte, wurde folgende Versuchsanordnung getroffen. Eine an beiden Enden offene Kapillare von rund $1^1/_2$ cm Länge und ungefähr $^1/_2$ mm Weite wurde mit schwärmerhaltiger Kulturflüssigkeit angefüllt und senkrecht auf dem Objekttisch des horizontalen Mikroskopes befestigt. — Zu Beginn des Versuches waren alle Schwärmer gleichmäßig in der ganzen Kapillare verteilt. Diese wurde in völliger Dunkelheit sich selbst überlassen. 30 Minuten nach Versuchsbeginn wurde die Kapillare bei schwachem roten Licht beobachtet: Der größte Teil der Schwärmer war im oberen Teil des Röhrchens, nur wenige unten zu sehen; an der oberen Wasserfläche hatte sich eine große Anzahl Ruhestadien gebildet, an der unteren waren nur ganz wenige (3) vorhanden. Dann wurde die Kapillare weiterhin auf 60 Minuten in völlige Dunkelheit gebracht. — Nur im oberen Teil der Kapillare waren noch ganz vereinzelte Schwärmer zu sehen, die obere Wasserfläche selbst war vollständig mit Ruhestadien bedeckt; an der unteren hatte sich die Zahl nur um ein ganz geringes (8) erhöht.

B. Versuche mit tiefen Temperaturen.

Versuch 4. Ein 1 mm hohes Schwärmerpräparat wurde in gleicher Weise wie in Kapitel I Versuch 17 in eine kleine feuchte Kammer gelegt, die durch Kältemischung abgekühlt werden konnte. Die Kammer wurde in ein schwarzes Tuch eingehüllt und so völlig vom Licht abgeschlossen. — In den ersten 35 Minuten sank die Tem-

peratur von 19° (Zimmertemperatur) allmählich bis auf 12°-11°, darauf wurde das Präparat sofort, bevor es sich noch erheblich erwärmen konnte, unter dem Mikroskop bei schwachem roten Licht untersucht. Der größte Teil der Schwärmer (89%), von denen die Mehrzahl festgehaftet hin- und herpendelte, war auf dem Objektträger unten zu sehen, nur wenige (11%) befanden sich am Deckglas oben.

Versuch 5. Um das geotaktische Verhalten der einzelnen Schwärmer beim allmählichen Sinken der Temperatur genauer beobachten zu können, wurde folgende Anordnung getroffen. Auf die in den Versuchen des Kap. I benutzte Glasküvette wurde ein Schwärmerpräparat gelegt, dessen Deckglas erhöht mittels Wachs (auf die Küvette) festgeklebt war. Die Küvette ihrerseits wurde auf dem Objekttisch des horizontalen Mikroskopes befestigt. — Der Versuch fand in der Dunkelkammer statt; als Lichtquelle diente wiederum die rote 16 HK Glühbirne. — Durch Hindurchleiten einer Kältemischung durch die Küvette konnte die Temperatur langsam abgekühlt werden. — Bei Versuchsbeginn bei Zimmertemperatur von 19° C eilten in gleicher Weise wie in Versuch 2 alle frei umherschwimmenden Schwärmer in mehr oder weniger geraden Bahnen nach oben. Bei 17°, 20 Minuten nach Versuchsbeginn, dauerte dies Aufsteigen noch unverändert fort. Bei 14°-13°, 30 Minuten nach Versuchsbeginn, setzten viele Schwärmer in ihrer nach oben gerichteten Bewegung aus, schwammen ein Stück horizontal, um schließlich entweder wieder nach oben weiterzuschwimmen, oder sogar in mehr oder weniger gerader Bahn direkt nach unten ihren Weg fortzusetzen. Bei 12°-10°, 40 Minuten nach Versuchsbeginn, eilten fast alle freiumherschwimmenden Schwärmer nach unten; während die meisten deutlich herabschwammen, was an ihrer schwankenden Bahn zu erkennen war, sanken bereits eine Anzahl in Kältestarre verfallen ganz gerade wie tote Körper herab.

Aus diesen Versuchen ist klar zu ersehen, daß die Schwärmer, auch wenn eine Beeinflussung der Bewegungsrichtung durch phototaktische und aerotaktische Reize möglichst ausgeschaltet ist, bei Zimmertemperatur dennoch das Bestreben zeigen, der Schwerkraft entgegen nach oben zu steigen. Diese Erscheinung beruht nicht auf dem specifischen Gewicht der Schwärmer, denn sobald ihre Eigenbewegung aufgehoben wird, sei es daß sie durch verdünnte Säuren

oder Laugen, durch andere Chemikalien oder durch hohe Temperaturen abgetötet werden, oder nur in Kältestarre verfallen, sinken sie sofort direkt herunter. Ein gleiches Verhalten stellten Nägeli (l. c. p. 102), Straßburger (l. c. p. 558) und F. Schwarz (Der Einfluß der Schwerkraft auf die Bewegungsrichtung von Chlamydomonas und Euglena. Berichte d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. II, p. 57) für andere Algenschwärmer fest. Es handelt sich also bei den Schwärmern von Chromulina Rosanoffii um einen durch die Schwerkraft ausgelösten Reiz, der diesen Bewegungsvorgang hervorruft, wegen seiner großen Ähnlichkeit mit den vom Licht ausgelösten Vorgängen Geotaxis genannt (Schwarz l. c. p. 71). Diese Erscheinung des Aufsteigens gegen die Schwerkraft, die als negative Geotaxis bezeichnet wird, schlägt bei den Schwärmern von Chromulina Rosanoffii (wie die Versuche 4 und 5 zeigen) beim Sinken der Temperatur zwischen 14° und 12° C in das Gegenteil um: die Schwärmer schwimmen nach unten. Während es bei Versuch 4 möglich wäre, daß viele Schwärmer, in Kältestarre verfallen, infolge ihres specifischen Gewichtes herabgesunken sind und auf diese Weise die starke Anhäufung am Objektträger erklärt werden könnte, ließ Versuch 5 bei langsam fallender Temperatur unzweifelhaft erkennen, wie von ungefähr 14° C an eine immer größer werdende Anzahl Schwärmer in denselben schwankenden, mehr oder weniger geraden Bahnen, in denen sie bei Zimmertemperatur (wie auch Versuch 2 zeigte) nach oben schwammen, jetzt direkt nach unten sich bewegten. Ähnlich Schwarz (l. c. p. 69) für Euglena und Chlamydomonasschwärmer: „Trotzdem also die Bewegung nicht sistiert war, wurden die Algen durch die Kälte für den Reiz der Schwerkraft unempfindlich gemacht." Für Chromulina Woroniana (Fisch), die Massart (l. c. p. 164) außer zu phototaktischen Untersuchungen, wie in Kapitel I erwähnt, auch zu Schwerkraftuntersuchungen benutzte, wurde von ihm in einem Kapillarversuch festgestellt, daß sie sich bei 15°-20° C nach aufwärts bewegte, bei 5°-7° C dagegen nach dem unteren Ende der Kapillare hinstrebte. An diese Tatsache, sowie an die in Kapitel I behandelte, daß Chromulina Woroniana bei hohen Temperaturen positiv phototaktisch ist, bei niederen negativ phototaktisch wurde, knüpft Massart (l. c. p. 164) die Betrachtung: „Ces faits expliquent pourquoi en été ils flottent sur l'eau et pourquoi en hiver ils vont se loger au fond." Das läßt sich ohne weiteres auch auf Chromulina Rosanoffii übertragen. — Für die Differenz zwischen der von Massart

bei Chromulina Woroniana und der von mir bei Chromulina Rosanoffii gefundenen Temperatur möchte ich nur auf die beiden in Kapitel I angeführten Gründe verweisen.

Schließlich ist noch einiges über das Verhalten des geotaktischen Reizes zu den anderen Reizen, speziell dem phototaktischen und chemotaktischen bezw. aerotaktischen zu sagen. Der geotaktische Reiz wird, wie sich schon aus den Versuchen 4 und 6 des vorigen Kapitels ergab, ohne weiteres vom Lichtreiz überwunden. Analoges Verhalten diesen Reizen gegenüber hat P. Jensen (Über den Geotropismus niederer Organismen. Archiv f. d. gesamte Physiologie. Bd. 53. p. 453) für Euglena und Chlamydomonas pulvisculus nachgewiesen. Ähnlich ist das Verhältnis des geotaktischen Reizes zum aerotaktischen (vergl. Aderhold l. c. p. 319 und Jensen l. c. p. 453), was in Versuch 2 gut zum Ausdruck kommt; wäre die negative Geotaxis überwiegend, so müßten sich sämtliche Schwärmer am oberen Rande des Präparates ansammeln; die Seitenränder dürften keine so starke Ansammlung zeigen. Einen weiteren Beweis liefert Versuch 2 des nächsten Kapitels. — Von dem geotaktischen Reiz bei Chromulina Rosanoffii erhält man völlig den Eindruck, den H. S. Jennings (Das Verhalten der niederen Organismen. p. 229) im allgemeinen für die Infusorien mit den Worten zum Ausdruck bringt: „Gewöhnlich läßt sich die Reaktion auf die Schwerkraft durch die Reaktionen auf andere Reize leicht verdecken. In deutlicher Weise tritt sie nur dann ein, wenn andere wirksame Reize völlig fehlen, und in solchen Fällen, wo sie mit anderen Reaktionen interferiert, ist es gewöhnlich die Schwerkraftreaktion, die den anderen weicht."

IV. Chemische Reize.

A. „Aerotaxis".

Die Untersuchungen über das Verhalten der Schwärmer chemischen Reizen gegenüber will ich mit dem unter natürlichen Verhältnissen am häufigsten auf die Schwärmer einwirkenden Reiz, dem der atmosphärischen Luft bezw. des Sauerstoffs beginnen. Es zeigte sich nämlich, daß bei den Schwärmern bei Ausschaltung der bisher behandelten Reizursachen ein ausgesprochenes Bestreben vorhanden ist, an

die mit der Luft in Berührung stehende Wasseroberfläche zu gelangen. Diese Erscheinung, die bei Bakterien von Th. W. Engelmann (Neue Methode zur Untersuchung der Sauerstoffausscheidung pflanzlicher und tierischer Organismen. Botan. Ztg. 1881. p. 441 ff.) entdeckt und besonders bei ihnen studiert worden ist, wird allgemein als Aerotaxis bezeichnet. — Zeit der Versuche über Aerotaxis: Mitte bis Ende August.

a) Versuche mit atmosphärischer Luft.

Versuch 1. Hierzu wurden zwei 1 mm hohe Präparate benutzt, bei denen die zwei Quer- und eine Längsseite mittels Wachs dicht verschlossen waren; außerdem wurden in beide mittels einer Kapillarpipette (nach Massart l. c. p. 157) einige Luftblasen hineingebracht. Das eine Präparat wurde ungefähr 30 cm vom Westfenster entfernt so hingelegt, daß die wachsfreie Längsseite vom Fenster abgekehrt war; das andere Präparat wurde zu gleicher Zeit ins Dunkle gelegt. — 30 Minuten nach Versuchsbeginn fanden sich bei dem Präparat, das im Dunkeln lag, sowohl an der der Luft ausgesetzten Seite sowie an den Luftblasen zahlreiche Schwärmer angesammelt. Viele Schwärmer waren schon zu Ruhestadien geworden, die sowohl der Wasserfläche am wachsfreien Rande des Präparates, wie der Innenfläche der Luftblasen aufsaßen. 90 Minuten nach Versuchsbeginn waren die Ansammlungen schon makroskopisch als gelber Streifen bezw. gelbe Kreise sichtbar geworden. Der wachsfreie Seitenrand des Präparates wie die Innenfläche der Luftblasen waren dicht mit Ruhestadien besetzt und nur noch vereinzelte frei umherschwimmende Schwärmer waren im Präparat sichtbar.— Bei dem Präparat, das am Fenster im Tageslicht lag, waren 120 Minuten nach Versuchsbeginn an den dem Fenster abgewandten Seiten der Luftblasen beträchtliche, schon makroskopisch sichtbare Ansammlungen von Schwärmern zu sehen, die dadurch zustande kamen, daß die nach der Fensterseite eilenden Schwärmer durch die Luftblasen aufgehalten wurden; ferner war an der Fensterseite des Präparates eine schwache dem Wachsstreifen parallele Schwärmeransammlung zu bemerken, die 180 Minuten nach Versuchsbeginn als makroskopisch deutlich erkennbarer Streifen sichtbar wurde. Der fast schwärmerfreie Raum zwischen dem Wachsverschluß und der Grenze dieses Streifens ist durch den vom ungefähr $1-1^1/_2$ mm hohen Wachsstreifen gebildeten Schatten zu erklären. An der wachsfreien dem Fenster abgewandten Längsseite hatten sich während des ganzen Versuches nur wenige

Schwärmer angesammelt und wenige Ruhestadien gebildet. Auch 180 Minuten nach Versuchsbeginn war deren Zahl im Verhältnis zu der Zahl derjenigen Schwärmer, die dem phototaktischen Reiz gefolgt waren, gering. — Präparate, auf drei Seiten mit Vaselin abgedichtet, ergaben, denselben Beleuchtungsverhältnissen bezw. Dunkelheit ausgesetzt, die gleichen Resultate.

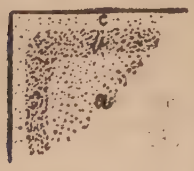
Versuch 2. Dieser Versuch, in dem das Verhältnis des aerotaktischen Reizes zum Schwerkraftreiz unter Ausschluß des Lichtreizes geprüft werden sollte, wurde folgendermaßen ausgeführt: Auf einen Objektträger wurde (in der gleichen Weise wie in den Versuchen 5-8 des Kap. II) ein Tropfen Kulturflüssigkeit mit etwas Chromulinahaut gebracht, die solange vorsichtig umgerührt wurde, bis keine Ruhestadien mehr vorhanden waren und sich nur noch Schwärmer im Tropfen befanden. In umgekehrter Lage, so daß der Tropfen sich unten am Objektträger hängend befand, wurde nun dies Präparat in völliger Dunkelheit sich selbst überlassen. 80 Minuten nach Versuchsbeginn war die unten befindliche Wasserfläche ganz mit Ruhestadien bedeckt, nur vereinzelte Schwärmer waren oben direkt unter dem Objektträger. 99% Ruhestadien an der Wasserfläche und 1% Schwärmer oben am Objektträger.

Nach den unter Nr. 1 wiedergegebenen Vesuchen ist das Bestreben der Schwärmer, an die die Wasserfläche berührende Luft bezw. an die Luftblasen zu gelangen, im Dunkeln bedeutend stärker als im Hellen ausgeprägt. Das im Dunkeln gehaltene Präparat zeigte bereits nach der verhältnismäßig kurzen Zeit von 30 Minuten eine beträchtliche Ansammlung von Schwärmern an der der Luft ausgesetzten Seite bezw. den Luftblasen und viele Schwärmer waren schon zu Ruhestadien geworden. Diese immerhin schnelle Umgruppierung der Schwärmer im Präparat kann nicht allein dadurch veranlaßt sein, daß sich im Dunkeln bald alle Schwärmer frei umherbewegen; denn dann müßte das im Hellen liegende Präparat, wenn es lange genug dem Licht ausgesetzt war — nach 2-3 Stunden —, ein ähnliches Resultat zeigen; was nicht der Fall war; die meisten Schwärmer waren vielmehr (wie bei Beschreibung des Versuches 1 erwähnt wurde) bei nur schwachem einseitigen Licht allein dem phototaktischen Reiz gefolgt. (Vergl. die Versuche 6 und 7, Kap. II.) Aus dieser Tatsache erhellt zugleich, daß Oberflächenkräfte hierbei nicht in Frage kommen. Die schnelle Ansammlung im

Dunkeln — man könnte es fast eine von der atmosphärischen Luft ausgeübte Anziehung nennen —, erklärt sich vielmehr dadurch, daß die Alge im Dunkeln nach Verbrauch des im Wasser des Präparates enthaltenen Sauerstoffs diejenigen Stellen aufsuchen muß, wo der Partialdruck des Sauerstoffs höher ist, um die für sie notwendige Menge zu finden; im Hellen dagegen produziert sie selbst durch Assimilation Sauerstoff in beträchtlicher Menge. (Vergl. Aderhold l. c. p. 317 und Jensen l. c. p. 449). Wirkt bei Ausschluß anderer Reize dem aerotaktischen der geotaktische allein entgegen, so bleibt letzterer völlig wirkungslos auf die Bewegungsrichtung der Schwärmer (Versuch 2). — Daß dies aerotaktische Verhalten der Schwärmer wohl hauptsächlich auf dem in der atmosphärischen Luft enthaltenen Sauerstoff beruht, werden die folgenden Versuche beweisen.

b) Versuche mit reinem Sauerstoff.

Versuch 3. In eine kleine feuchte Kammer, wie sie schon zu den früheren Versuchen benutzt worden war, wurde Sauerstroff geleitet (der in einem Reagenzglase aus chlorsaurem Kali und Braunstein hergestellt wurde). In diese Kammer wurde ein Schwärmerpräparat gelegt, dessen Deckglas auf kleinen niedrigen Wachsfüßchen ruhte; die Kammer selbst in ein schwarzes Tuch eingehüllt. Nachdem das Präparat 10 Minuten dem reinen Sauerstoff ausgesetzt war, konnte man schon mit bloßem Auge sehen, wie sich die anfangs gleichmäßig gelbliche Farbe des Präparates verändert hatte (siehe Fig. 2); den vier Deckglaskanten genau parallel war in $1^1/_2$-2 mm Entfernung von ihnen ein ungefähr 2 mm breiter stark gelber Streifen (b) sichtbar, das Innere (a) dieses viereckigen Rahmens erschien fast farblos. Unter dem Mikroskop betrachtet erwies sich dieser gelbe Streifen als eine sehr dichte Ansammlung unzähliger Schwärmer. Die Zone (c) zwischen dieser nach beiden Seiten ziemlich scharf abgegrenzten Ansammlung und den Rändern des Deckglases war nicht völlig schwärmerfrei, ebenso befand sich in den mittleren Teilen des Präparates eine größere Anzahl Schwärmer. 15 bis 20 Minuten, nachdem das Präparat aus der mit Sauerstoff erfüllten feuchten Kammer herausgenommen war, begannen die Grenzen der Ansammlung sich allmählich zu verwischen.



(Fig. 2)

Versuch 4. Mittels eines zu einer Kapillare ausgezogenen Glasrohres wurden in entsprechender Weise wie

in Versuch 1 mehrere Sauerstoffblasen unter das Deckglas des Präparates (das ebenso wie in Versuch 3 hergestellt war) gebracht. — Darauf wurde das Präparat ins Dunkle gelegt. 7 bis 10 Minuten nach Versuchsbeginn war um jede Sauerstoffblase eine schon makroskopisch sichtbare schwärmerfreie Zone zu sehen, um diese eine von einer Schwärmeransammlung gebildete ringförmige Zone, die 30 Minuten nach Versuchsbeginn ihre größte Dichte erreichte. Wenn, wie die mikroskopische Beobachtung zeigte, von den frei umherschwimmenden Schwärmern, die nach der Fensterseite des Präparates hineilten, einige direkt mit den Sauerstoffblasen in Berührung kamen, so kehrten sie sofort um, ohne sich dort festzusetzen; dies taten sie erst und fast immer in der Zone der starken Ansammlung.

In beiden Versuchen (3 und 4) ist in gewissen Zonen des Präparates der Partialdruck des Sauerstoffs erhöht und dadurch ein höheres Diffusionsgefälle geschaffen; es zeigte sich nun, daß sich die Schwärmer in einer bestimmten Sauerstoffkonzentration ansammeln, die man nach Jennings (l. c. p. 45) als ihr Optimum bezeichnen kann. Diese optimale Zone wirkt auf die Schwärmer, die sich an Stellen tieferen und höheren Partialdruckes befinden, stark attraktiv, während die Stellen höheren Partialdruckes repulsiv wirken. Während bei den Schwärmern von Chromulina Rosanoffii der bei Anwesenheit von atmosphärischer Luft vorhandene Partialdruck des Sauerstoffs noch diesseits des Optimums liegt und daher keine Repulsionserscheinungen hervorruft, wirkt er bei vielen Bakterien und Infusorien schon repulsiv, wie es Massart (l. c. p. 157 f.) eingehend an Meeresspirillen und dem Wimperinfusor Anophrys nachgewiesen hat. Der von ihm an gleicher Stelle ausgesprochene Satz: „chaque espèce reste dans la zone où l'oxygène atteint la tension qui lui convient le mieux", hat auch für die Chromulinaschwärmer seine Gültigkeit. — Doch kann es fraglich erscheinen, ob die vorhin als Aerotaxis bezeichneten und näher erörterten Erscheinungen einzig und allein auf der positiven Chemotaxis nach Sauerstoff beruhen. Höchstwahrscheinlich ist die sich entwickelnde Atmungskohlensäure, wie E. G. Pringsheim (Die Reizbewegungen der Pflanzen. p. 275) annimmt, an jenen Erscheinungen stark beteiligt. „Sollte diese (Atmungskohlensäure) eine negative Chemotaxis bewirken, so könnte ihre Reizwirkung das geschilderte

Verhalten, wenn nicht allein, so doch mit hervorrufen." Wie wir bald sehen werden, verhalten sich in der Tat die Schwärmer von Chromulina Rosanoffii wie gegen alle Säuren so auch gegen Kohlensäure stark negativ chemotaktisch.

B. Versuche mit anderen chemischen Stoffen.

Im Folgenden wird das Verhalten der Schwärmer verschiedenen anorganischen und organischen Stoffen gegenüber behandelt. Es wurden bei allen Stoffen für die verschiedenen Konzentrationen fast immer je zwei Untersuchungsmethoden angewandt. — Das eine Mal wurden, wie es W. Pfeffer (Locomotorische Richtungsbewegungen durch chemische Reize. I. Unters. aus d. Botan. Inst. zu Tübingen. Bd. I. p. 367 und II. l. c. p. 584) angibt, einseitig zugeschmolzene Kapillaren, die mit der Versuchsflüssigkeit gefüllt waren, in das Präparat, dessen Deckglas auf kleinen Wachsfüßchen ruhte, hineingeschoben. Die Länge der Kapillaren betrug ungefähr 5-7 mm, ihr Durchmesser 60-80 μ. Nachdem sie etwa dreiviertel ihrer Länge (3-5 mm) mit der Versuchsflüssigkeit gefüllt waren, so daß kein Sauerstoffmangel die Bewegungen der Schwärmer in ihnen irgendwie hindernd beeinflussen konnte, wurden sie schnell in destilliertem Wasser abgespült und sofort seitlich bezw. von vorn (d. h. von der der Lichtquelle zugewandten Seite) in das Präparat geschoben. Es wurde darauf geachtet, daß die Temperatur der Flüssigkeit in der Kapillare mit der des Präparates möglichst übereinstimmte. — Zweitens wurde sehr oft nach der von Jennings (l. c. p. 76) beschriebenen Methode verfahren. Vermittels einer Kapillarpipette wurde ein Tropfen der Versuchsflüssigkeit in das Präparat unter das Deckglas gebracht. — Die von vorn kommenden, die Bewegungsrichtung der Schwärmer beeinflussenden Lichtstrahlen wurden durch einen vor das Präparat gestellten Papierschirm möglichst abgedämpft. Zur Kontrolle wurde bei jedem Versuch eine mit filtrierter Kulturflüssigkeit gefüllte Kapillare mit in das Präparat geschoben und ferner wurde, um jegliche Beeinflussung des Resultates durch den Lichtreiz auszuschließen, jede Versuchsanordung doppelt getroffen, indem das eine Präparat im Dunkeln gehalten und nach 10-15 Minuten zum ersten Male bei diffusem Licht beobachtet wurde. — Zeit der Versuche: Ende August bis Ende September. — Die Versuchsdauer jedes einzelnen Versuches aller Versuchsreihen schwankte zwischen 40 und 60 Minuten. —

a) Salze.

Die in den nächstfolgenden Versuchsreihen als lähmend bezeichnete Wirkung zeigte sich wie gewöhnlich darin, daß sich die Schwärmer festhafteten, mehr oder weniger stark hin- und herpendelten, ohne sich loszulösen, um schließlich ganz bewegungslos zu werden, ohne abzusterben; die als schwache Lähmung bezeichnete Wirkung machte sich insofern geltend, als sich die Schwärmer kurz vor der Mündung der Kapillare und in ihr selbst festsetzten; die starke Lähmung dadurch, daß sich die Schwärmer schon an der Diffusionsgrenze der Versuchsflüssigkeit, nämlich in einem Kreis, dessen Mittelpunkt die Mündung der Kapillare bildete, sofort festsetzten, stark hin- und herpendelten, ruhiger wurden, aber bald abstarben.

Versuchsreihe 1. KCl (Chlorkalium).

20%, 10%: Keine Einwirkung auf die Bewegungsrichtung. Tötliche Wirkung.

5%, 2%, 1%: Keine Einwirkung auf die Bewegungsrichtung. Schwach lähmende Wirkung.

0,5%, 0,2%, 0,1%, 0,05%: Völlig wirkungslos.

Versuchsreihe 2. NaCl (Kochsalz).

20%, 10%: Keine Einwirkung auf die Bewegungsrichtung. Tötliche Wirkung.

5%, 2%, 1%: Keine Einwirkung auf die Bewegungsrichtung. Schwach lähmende Wirkung.

0,5%, 0,2%, 0,1%, 0,05%: Völlig wirkungslos.

Versuchsreihe 3. $KClO_3$ (Kaliumchlorat).

20%, 10%: Keine Einwirkung auf die Bewegungsrichtung. Tötliche Wirkung.

5%, 2%: Keine Einwirkung auf die Bewegungsrichtung. Schwach lähmende Wirkung.

1%, 0,5%, 0,2%, 0,1%: Völlig wirkungslos.

Versuchsreihe 4. $CuSO_4$ (Kupfersulfat).

20%, 10%, 5%: Keine Einwirkung auf die Bewegungsrichtung. Schnell tötende Wirkung.

2%, 1%, 0,5%: Keine Einwirkung auf die Bewegungsrichtung. Stark lähmende, später tötliche Wirkung.

0,2%, 0,1%: Keine Einwirkung auf die Bewegungsrichtung. Schwach lähmende, später tötliche Wirkung.

0,05%, 0,02%, 0,01%, 0,005%: Keine Einwirkung auf die Bewegungsrichtung. Schwach lähmende Wirkung.

0,002%, 0,001%: Völlig wirkungslos.

Von einer Beeinflussung der Bewegungsrichtung d. h. attraktiven oder repulsiven Wirkung war bei keinem der angewandten Salze auch nur eine Spur wahrnehmbar.

b) Laugen.

Versuchsreihe 5. KOH (Kalilauge).

20%, 10%: Keine Einwirkung auf die Bewegungsrichtung. Tötliche Wirkung.

5%, 2%, 1%, 0,5%, 0,1%, 0,05%, 0,01%: Völlig wirkungslos.

Versuchsreihe 6. NaOH (Natronlauge).

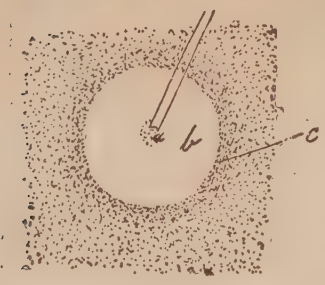
20%, 10%: Keine Einwirkung auf die Bewegungsrichtung. Tötliche Wirkung.

5%, 2%, 1%, 0,5%, 0,1%, 0,05%, 0,01%: Völlig wirkungslos.

Diese beiden Versuchsreihen lassen ein völlig neutrales Verhalten der Schwärmer Laugen gegenüber erkennen.

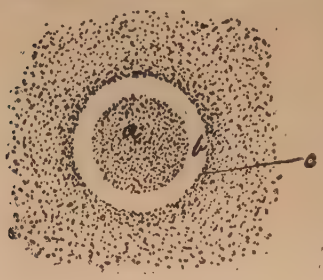
c) Säuren.

Wie die nächstfolgenden Versuchsreihen zeigen, wirken die Säuren (anorganische und organische) je nach ihrer Konzentration auf diejenigen Schwärmer, die von der säurehaltigen Flüssigkeit überrascht passiv in sie hineingelangen, mehr oder weniger stark lähmend und verursachen die üblichen Lähmungserscheinungen; auf diejenigen Schwärmer dagegen, die von außen d. h. von dem säurefreien Teile des Präparates auf die Diffusionsgrenze der Säure zuschwimmen, mehr oder weniger stark repulsiv. Bei den Versuchen nach der Pfefferschen Methode ist die erstere Wirkung besonders bei stärkerer Konzentration der Säure gut wahrnehmbar; die gleich bei Versuchsbeginn von der aus der Kapillare herausdiffundierenden Säure überraschten Schwärmer (a in Fig. 3) haften sich, sofern sie nicht etwa gleich abgetötet werden, sofort fest, zittern stark hin und her und werden bald bewegungslos. Die an die dauernd größer werdende, kreisrunde Diffusionsgrenze (c) der Säure heranschwimmenden Schwärmer lassen eine deutliche Repulsion erkennen. Entweder haften sie sich mit dem geißeltragenden Vorderende einen Augenblick fest, schwingen einige Male hin und her, lösen sich ab und schwimmen schließlich in mehr oder weniger entgegengesetzter Richtung fort, oder sie kehren an der Diffusionsgrenze angelangt, ohne sich erst festzusetzen,



(Fig. 3)

im Bogen um und erhalten so eine entgegengesetzte Bewegungsrichtung. Infolge dieser Vorgänge hat sich im Präparat schon nach wenigen Minuten eine makroskopisch sichtbare, dauernd größer werdende schwärmerfreie Kreisfläche (b) gebildet, in deren Mittelpunkt an der Kapillarmündung nur eine kleine Ansammlung gelähmter bezw. abgestorbener Schwärmer (a) sich befindet. — Ein zunächst völlig anders aussehendes makroskopisches Bild (Fig. 4) ergaben die oben angegebenen Wirkungen der Säuren bei den Versuchen nach der Jenningschen Methode. Kurz nach Einführung des Säuretropfens unter das Deckglas gewahrt man schon mit bloßem Auge an der nämlichen Stelle eine völlig schwärmerfreie Ringzone (b), die ständig breiter wird, da ihre äußere Peripherie stetig wächst, während ihre innere sich nicht verkleinert. Die Erklärung für diese den Kapillarversuchen völlig entsprechende, wenn auch zunächst ganz anders aussehende Erscheinung ist, wie eine genaue mikroskopische Beobachtung ergibt, folgende: Die Schwärmer, welche von der aus der Mündung der Kapillarpipette heraustretenden säurehaltigen Versuchsflüssigkeit plötzlich getroffen werden, werden sofort gelähmt und haften sich am Glase fest, wodurch eine, viele Minuten in konstantem Umfange sich erhaltende schwärmerhaltige Kreisfläche (a) entsteht. Bald beginnt die eingeführte Versuchsflüssigkeit nach außen langsam zu diffundieren; die jetzt an die äußere Grenze (c) der Diffusionszone von außen herankommenden Schwärmer stehen in analoger Weise wie in den Versuchen nach der Pfefferschen Methode unter der repulsiven Einwirkung der Säure, so daß um die konstant bleibende innere Kreisfläche herum eine schwärmerfreie Ringzone sich bildet, die mit Erweiterung der Diffusionsgrenze immer breiter wird. Die Beobachtungen zeigen ferner, daß bei zunehmender Verdünnung des Säuretropfens von den gelähmten Schwärmern der inneren Kreisfläche einige wenige sich loslösen und langsam umherschwimmen und vereinzelte davon in die schwärmerfreie Ringzone ungehindert gelangen, da für sie keine Repulsionsgrenze besteht; dagegen sieht man niemals Schwärmer von außen her den äußeren Rand der Ringzone überschreiten. (Die Stärke der Repulsion



(Fig. 4)

wurde je nach der Schnelligkeit der Umkehr der Schwärmer und der Schärfe der Repulsionsgrenze als starke, schwache und ganz schwache Repulsion bezeichnet.)

α) Anorganische Säuren.

Versuchsreihe 7. HCl (Salzsäure).

20%, 10%: Starke Repulsion. Tötliche Wirkung.
5%, 2%: Starke Repulsion. Stark lähmende Wirkung.
1%, 0,5%, 0,2%: Schwache Repulsion. Schwach lähmende Wirkung.
0,1%: Ganz schwache Repulsion. Ganz schwach lähmende Wirkung.
0,05%, 0,02%: Völlig wirkungslos.

Versuchsreihe 8. H_2SO_4 (Schwefelsäure).

20%, 10%: Starke Repulsion. Tötliche Wirkung.
5%, 2%, 1%: Starke Repulsion. Stark lähmende Wirkung.
0,5%, 0,2%: Schwache Repulsion. Schwach lähmende Wirkung.
0,1%, 0,05%: Ganz schwache Repulsion. Ganz schwach lähmende [Wirkung.
0,02%, 0,01%: Völlig wirkungslos.

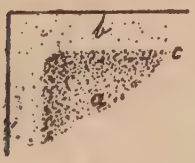
Versuchsreihe 9. HNO_3 (Salpetersäure).

10%, 5%: Starke Repulsion. Tötliche Wirkung.
2,5%, 1%, 0,5%: Starke Repulsion. Stark lähmende Wirkung.
0,25%, 0,1%, 0,05%: Schwache Repulsion. Schwach lähmende Wirkg.
0,025%, 0,01%: Ganz schwache Repulsion. Ganz schwach lähmende [Wirkung.
0,005%, 0,0025%, 0,001%: Völlig wirkungslos.

Versuchsreihe 10. CO_2 (Kohlensäure).

1. Versuchsanordnung.

In ähnlicher Weise wie in Versuch 3 dieses Kapitels wurde in eine kleine feuchte Kammer Kohlensäure geleitet (die in einem Kippschen Apparat erzeugt und durch Hindurchleiten durch destilliertes Wasser gereinigt worden war). In diese Kammer wurde ein Schwärmerpräparat gelegt, dessen Deckglas auf ganz niedrigen Wachsfüßchen ruhte; die Kammer selbst in ein schwarzes Tuch eingehüllt. — 10 Minuten nach Versuchsbeginn war den Deckglasrändern entlang (siehe Fig. 5) eine 2-3 mm breite, völlig farblose Zone (b) zu sehen. Im Innern (a) dagegen war die schon von Anfang an vorhandene gelbliche Farbe unverändert geblieben. Unter dem Mikroskop betrachtet, erwies sich die Randzone als fast schwärmerfrei; im mittleren Viereck schwammen die Schwärmer in großer Menge herum; an der Grenze (c) zur schwärmerfreien Zone fand eine deutliche Fluchtreaktion statt. — Nach Verlauf von weiteren 15 Minuten war die scharfe Abgrenzung zwischen dem



(Fig. 5)

schwärmerfreien Rande und der Mitte allmählich verschwunden, d. h. viele Schwärmer schwammen ungehindert in die vorher völlig freie Zone hinein, nachdem der Partialdruck der Kohlensäure wieder auf den normalen zurückgegangen war.

2. Versuchsanordnung.

In entsprechender Weise wie in Versuch 4 dieses Kapitels wurden unter das Deckglas eines Präparates mehrere Kohlensäureblasen gebracht. Bereits 1-2 Minuten nach Versuchsbeginn ist, schon makroskopisch erkennbar, um jede Kohlensäureblase eine dauernd größer werdende schwärmerfreie Zone zu sehen; an den Blasen selbst befindet sich eine Anzahl durch die Kohlensäure gelähmter, bewegungsloser Schwärmer.

3. Versuchsanordnung.

Nach der Jenningschen Methode wurde ein Tropfen CO_2 gesättigten Wassers unter das Deckglas des Präparates gebracht. Es zeigte sich wie bei allen übrigen Säuren das schon makroskopisch sichtbare Bild der schwärmerfreien Ringzone.

β) Organische Säuren.

Versuchsreihe 11. $C_2H_4O_2$ (Essigsäure).

20%, 10%, 5%, 2%: Starke Repulsion. Tötliche Wirkung.
1%, 0,5%, 0,2%: Starke Repulsion. Stark lähmende Wirkung.
0,1%, 0,05%, 0,02%: Schwache Repulsion. Schwach lähmende Wirkg.
0,01%, 0,005%: Ganz schwache Repulsion. Ganz schwach lähmende Wirkung.
0,002%, 0,001%: Völlig wirkungslos.

Versuchsreihe 12. $C_4H_6O_6$ (Weinsäure).

20%, 10%, 5%, 2%: Starke Repulsion. Tötliche Wirkung.
1%, 0,5%, 0,2%: Starke Repulsion. Stark lähmende Wirkung.
0,1%, 0,05%, 0,02%: Schwache Repulsion. Schwach lähmende Wirkg.
0,01%: Ganz schwache Repulsion. Ganz schwach lähmende Wirkg.
0,005%, 0,002%, 0,001%: Völlig wirkungslos.

d) Andere organische Stoffe.

Die mit einer Anzahl organischer Stoffe ausgeführten Versuche zeigten bei keiner Konzentration irgendwelchen Einfluß auf die Bewegungsrichtung der Schwärmer. Bei hoher Konzentration wirkten sie, wie sich voraussehen ließ, tötlich. — Mit folgenden Stoffen und Konzentrationen wurden Versuche ausgeführt.

Versuchsreihe 13.

Traubenzucker: 30%, 20%, 10%, 5%, 2%, 1% und 0,5%.

Versuchsreihe 14.

(Absoluter) Alkohol: 20%, 10%, 5%, 2% und 1%.

Versuchsreihe 15.

Glyzerin: 15%, 10%, 5% und 1%.

Versuchsreihe 16.

Pepton: 5%, 2%, 1%, 0,5%, 0,2% und 0,1%.

Versuchsreihe 17.

Liebigs Fleischextrakt (mit Kalilauge neutralisiert): 20%, 10%, 5%, 2%, 1%, 0,5%, 0,2%, 0,1% und 0,05%.

Versuchsreihe 18.

Da in Tierleichen in ähnlicher Weise wie im Fleischextrakt viele Phosphate enthalten sind, brachte ich, einem von Pfeffer (I. l. c. p. 467) ausgeführten Versuche entsprechend, frisch abgetrennte Beine der Stubenfliege in das Präparat. — Selbst nach einer Stunde war keine Spur etwa vorhandener Attraktion zu sehen. Fast kein Schwärmer saß an ihnen fest.

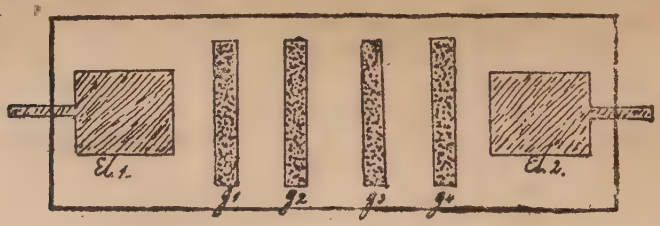
Wie schon anfangs erwähnt, liegen von Pfeffer (II. l. c. p. 597) Angaben über das chemotaktische Verhalten unserer Schwärmer vor. Pfeffer führt unter den von ihm untersuchten Flagellaten auch die Schwärmer von Chromophyton Rosanoffii (Woronin) als nicht chemotaktisch an, ausgenommen die Reizbarkeit Sauerstoff gegenüber, wie er ausdrücklich hervorhebt. Diese negativen Ergebnisse, die Pfeffer außerdem noch bei einer größeren Anzahl anderer grüner Flagellaten erhielt, beruhen größtenteils auf der Prüfung mit Fleischextrakt und Pepton, seltener mit Chlorkalium (II. l. c. p. 617), das sich für viele Organismen, unter anderen auch für die chlorophyllführende Chlamydomonas pulvisculus (Ehrbg.), als das beste Reizmittel erwies (II. l. c. p. 613).

Auf Grund meiner Untersuchungen muß ich Pfeffer darin zunächst beipflichten, daß die Schwärmer von Chromulina Rosanoffii tatsächlich niemals — ausgenommen bei Sauerstoff — ein positiv chemotaktisches Verhalten zeigen. Dagegen machte sich ein ausgesprochen negativ chemotaktisches Verhalten sämtlichen zur Untersuchung benutzten anorganischen wie organischen Säuren gegenüber deutlich geltend, das bei verschiedenen Säuren bis zu verschieden starken Verdünnungen noch vorhanden war. (Vergl. die Versuchsreihen 7-12). Daß es sich hier nicht um eine durch den osmotischen Druck hervorgerufene Erscheinung handelt, geht daraus zur

Genüge hervor, daß sich die Schwärmer sämtlichen übrigen angewandten Stoffen gegenüber, ebensowohl bei niederer wie bei höherer Konzentration, stets völlig indifferent zeigten. Es handelt sich demnach bei diesen Erscheinungen einzig und allein um ein negativ chemotaktisches Verhalten der Schwärmer gegen Säuren, einschließlich der gasförmigen Kohlensäure, auf deren Bedeutung für die Aerotaxis schon oben hingewiesen wurde. Chromulina Rosanoffii ist also ein Organismus, dem positive Chemotaxis im allgemeinen abgeht, für den aber repulsive Wirkung einiger Stoffe besteht. (Vergl. Pfeffer II. l. c. p. 624).

V. Galvanische Reize.

Versuchsanordnung: Die Versuche wurden mit unpolarisierbaren Elektroden ausgeführt, und zwar wurde die Versuchsanordnung, in Anlehnung an die von H. Erhard (Tierphysiologisches Praktikum. p. 94) angegebene, folgendermaßen hergestellt: Auf einen Objektträger (siehe Fig. 6)



(Fig. 6)

wurden vier ungefähr $1^1/_2$ mm hohe, 3 mm breite und 2 cm lange poröse Gipsleisten (g_1, g_2, g_3, g_4) mit Siegellack in folgenden Abständen aufgekittet: Die beiden mittleren (g_2 und g_3) ungefähr 8 mm von einander entfernt, von diesen beiden nach rechts bezw. links in ungefähr 6 mm Entfernung die beiden anderen (g_1 und g_4). An den beiden Enden des Objektträgers wurde je eine 1 cm breite Kupferblechelektrode ($El._1$ und $El._2$) aufgekittet, durch die der elektrische Strom zugeleitet wurde. Von den beiden äußeren Gipsleisten (g_1 und g_4) sich bis auf die Kupferelektroden erstreckend wurde je ein (rechteckig geschnittenes) Stückchen mit gesättigter Kupfersulfatlösung getränktes Fließpapier

gelegt und zwischen den beiden äußeren Gipsleisten einerseits und den beiden inneren andererseits also zwischen g_1 und g_2 sowie zwischen g_3 und g_4) je ein Stück mit Kulturflüssigkeit getränktes Fließpapier. Zwischen die beiden inneren Gipsleisten (g_2 und g_3) kam schließlich das Präparat selbst zu liegen, dessen Deckglas fast genau in den Zwischenraum zwischen den beiden Gipsleisten paßte. Die mit Kulturflüssigkeit getränkten beiden Fließpapierstücke zwischen den vier Gipsleisten seitlich des Präparates wurden öfters erneuert und dadurch verhindert, daß auch nur eine Spur von Kupfersulfat in das Präparat eindringen konnte. Diese Versuchsanordnung besaß den Vorteil, äußerst handlich zu sein und den elektrischen Strom nicht allzusehr abzuschwächen. Als Stromquelle wurde einesteils eine Akkumulatorenbatterie von 10 Volt benutzt, bestehend aus zwei Akkumulatoren von je 20 Ampère-Stunden und drei von je 7 bis 8 Ampère-Stunden, anderenteils konnte durch Einschalten eines regulierbaren Rheostaten von 25 Ohm in die zur Nitralampe führende Leitung ein Nebenschlußstrom von 1-32 Volt Klemmenspannung benutzt werden; in den Stromkreis selbst wurde ein Ausschalter sowie eine Pohl'sche Wippe eingeschaltet. — Zeit der Versuche: Ende September bis Anfang Oktober.

Die Resultate mehrerer mit dieser Versuchsanordnung ausgeführter Untersuchungen, die alle das gleiche Ergebnis zeigten, will ich zusammengefaßt wiedergeben. — Schon beim Einschalten eines Stromes von 10 Volt ist deutlich zu sehen, wie ein großer Teil der frei umherschwimmenden Schwärmer, die zumeist in mehr oder weniger geraden Bahnen zur Lichtseite des Präparates hineilten, ihren Weg nach der Anodenseite des Präparates lenken. Die Art und Weise sowie die Geschwindigkeit der Bewegungen beim Schwimmen nach der Anode ist die gleiche wie in einem Präparat ohne Stromdurchfluß. Auch hier ist die Bahn der Schwärmer auf größere Strecken keineswegs schnurgerade; sie ist aber von der Bahn in Präparaten, die nicht galvanischen Strömen ausgesetzt sind, dadurch unterschieden, daß die Schwärmer nur sehr selten von ihrer nach der Anode gerichteten, also im großen und ganzen geradlinigen Bewegungsrichtung abweichen und in einer anderen Richtung plötzlich weiterschwimmen, während dies sonst oft der Fall ist. Einige wenige Schwärmer schwimmen selbst bei 25-30 Volt in verschiedenen Richtungen, vereinzelte sogar nach der Kathode. Die Empfindlichkeit der Schwärmer für

den elektrischen Reiz nimmt bei längerem Stromdurchfluß (10 Min.) merklich ab. Beim Umkehren der Stromrichtung schwimmen zunächst noch einige Schwärmer ein Stück (90—100 μ) in der alten Bewegungsrichtung weiter, die meisten jedoch kehren sofort um oder setzen sich erst vorher wenige Sekunden fest und pendeln einige Male hin und her, ehe sie nach der entgegengesetzten Richtung weiterschwimmen. Beim Ausschalten des Stromes hört die nach der Anode gerichtete Bewegung bei den meisten Schwärmern auf, und sie schwimmen gleich wieder nach allen Seiten fort, besonders nach der Lichtseite des Präparates; bei anderen macht sich noch eine Nachwirkung geltend, sie schwimmen in ähnlicher Weise, wie oben bei Stromumkehr erwähnt, oft 100 μ und weiter nach der bisher die Anode bildenden Seite. (Siehe Verworn, Die polare Erregung der Protisten durch den galvanischen Strom. [II.] Archiv f. d. gesamte Physiologie. Bd. 46. p. 289). — Sehr störend machte sich bei allen diesen Versuchen die besonders bei stärkeren Strömen (15-30 Volt) auftretende „kataphorische Wirkung" des Stromes geltend (vergl. Verworn. I. Arch. f. d. ges. Physiologie. Bd. 45. p. 28). Diese äußerst schwachen Strömungen waren sowohl von der Anode nach der Kathode als auch besonders umgekehrt gerichtet, kommen aber für die Beurteilung der Resultate nicht in Betracht. Denn daß die Bewegungsrichtungen der Schwärmer nicht etwa durch diese Strömungen veranlaßt wurden, läßt sich durch folgende Tatsache einwandfrei dartun: die von jenen Strömungen fortgeführten toten Algenzellen oder sonstigen kleinen Körperchen bewegten sich schnurgerade ohne die geringsten seitlichen Schwankungen; ihre Geschwindigkeit betrug in 1 Sekunde 6 μ, 9 μ, allerhöchstens 11 μ, die der Schwärmer durchschnittlich 36-40 μ; ferner hörten diese passiven Bewegungen bei Stromschluß augenblicklich auf, bezw. drehten bei Stromumkehr sofort um, eine Nachwirkung war niemals zu bemerken.

Die Schwärmer von Chromulina Rosanoffii sind demnach zwar galvanotaktisch, aber gleich anderen Flagellaten lange nicht so empfindlich für den elektrischen Reiz wie z. B. Paramäcium oder andere ciliate Infusorien. Deshalb hat wohl auch Verworn in seinem ersten Aufsatz 1889 (I. l. c. p. 33) ein völliges Fehlen der Galvanotaxis bei Flagellaten für möglich gehalten. Ein Jahr später jedoch (II. l. c. p. 301 f.) stellte er einen Teil der Flagellaten als negativ galvanotaktisch, d. h. nach der Kathode schwimmend fest, andere

als positiv galvanotaktisch, hierzu sind auch die Schwärmer von Chromulina Rosanoffii zu rechnen.

Zum Schluß möchte ich noch eine bei sämtlichen Versuchen in gleichem Maße in die Augen fallende Erscheinung, nämlich das Festhaften an den Glasflächen und die Pendelbewegungen der Schwärmer kurz berühren; sie kann als „Thigmotaxis" aufgefaßt werden, wenn man mit Verworn (Allgem. Physiologie. p. 470) das infolge „mehr oder weniger starker Berührung der lebendigen Substanz mit festeren Körpern zu Stande kommende" Festhaften an der Unterlage als „Thigmotaxis" bezeichnet. Dieses thigmotaktische Verhalten tritt bei den Schwärmern von Chromulina Rosanoffii nur bei geringerer oder stärkerer Lähmung ein, die ihrerseits durch die Einwirkung des Lichtes, tieferer oder hoher Temperaturen, von Salzen oder Säuren hervorgerufen wird. Trifft die durch das Licht schwach gelähmten, thigmotaktisch festhaftenden Schwärmer ein weiterer Reiz, so findet man, daß weder der durch die Schwerkraft ausgelöste Reiz, noch ein chemischer, noch der galvanische, selbst nicht stärkere mechanische Erschütterungen des Präparates im Stande sind, die Schwärmer zur freien Bewegung zu bringen, daß allein die steigende Temperatur, der Wärmezuwachs, die Lähmung bezw. die „Thigmotaxis" der Schwärmer aufzuheben vermag.

*

Die Untersuchungen wurden Anfang Oktober zum Abschluß gebracht, da mit Beginn der kühleren Jahreszeit die Chromulinahaut in den Kulturgefäßen selbst in mäßig warmen Räumen nur noch spärlich vorhanden war, so daß man nur wenige Schwärmer gleichzeitig in das Präparat bringen konnte und diese sich kaum erregbar für äußere Reize erwiesen.

Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse.

Die Geschwindigkeit der Schwärmer von Chromulina Rosanoffii nimmt bei steigender Temperatur bis zum Temperaturoptimum (30°-32° C) zu, dann rasch ab; ebenso nimmt die Geschwindigkeit bei sinkender Temperatur ab. Als das erregende Moment ist nicht die absolute Temperatur, sondern der Wärmezuwachs erwiesen.

Bei sinkender Temperatur werden die sonst stets, auch bei starkem künstlichen Licht positiv phototaktischen Schwärmer negativ phototaktisch. Die umstimmende Wirkung beruht hier ebenfalls nicht auf der absoluten Temperatur, sondern auf der Wärmeabnahme.

Chromulina Rosanoffii gedeiht im Schatten, im diffusen Licht, weit besser als im direkten Sonnenlicht.

Außer der starken phototaktischen Wirkung kommt dem Licht eine lähmende Wirkung zu.

Die Schwärmer zeigen an der Grenze vom Hellen zum Dunklen keine Schreckreaktion.

Die Schwärmer sind negativ geotaktisch; bei niederen Temperaturen dagegen schlägt diese Reaktion, in ähnlicher Weise wie die Lichtreaktion, in das Gegenteil um.

Sie sind in hohem Grade, besonders im Dunklen, aerotaktisch; ein bestimmter Partialdruck des Sauerstoffs, der höher liegt als der des Sauerstoffs der atmosphärischen Luft, erzeugt für sie ein Optimum; ein noch höherer wirkt auf sie repulsiv.

Außer Sauerstoff wirkte kein anderer der angewandten anorganischen oder organischen Stoffe attraktiv; mehr oder weniger stark repulsiv dagegen wirkten ausschließlich die Säuren.

Galvanischen Strömen ausgesetzt erwiesen sich die Schwärmer als positiv galvanotaktisch.

Literatur.

Aderhold, R. Beitrag zur Kenntnis richtender Kräfte bei der Bewegung niederer Organismen. Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaft. Bd. 22. 1888.

Buder, J. Die Goldglanzalge. Naturwissenschaftl. Wochenschrift. Neue Folge. Bd. 15. 1916.

Cohn, F. Über eine neue Gattung aus der Familie der Volvocineen. Zeitschrift für wissenschaftl. Zoologie. Bd. IV. 1853.

Engelmann, Th. W. (I). Neue Methode zur Untersuchung der Sauerstoffausscheidung pflanzlicher und tierischer Organismen. Botanische Zeitung 1881.

Engelmann, Th. W. (II). Die Purpurbakterien und ihre Beziehungen zum Licht. Botanische Zeitung 1888. Bd. 46.

Erhard, H. Tierphysiologisches Praktikum. Jena 1916.

Famintzin, A. Die Wirkung des Lichtes auf Algen und einige ihnen nahe verwandte Organismen. Jahrbücher f. wiss. Botanik, herausgegeb. von Dr. N. Pringsheim. Bd. VI. Leipzig 1867-68.

Gaidukov, N. Über das Chrysochrom. Berichte der Deutsch. Bot. Ges. Bd. XVIII. 1900.

Jennings, H. S. Das Verhalten der niederen Organismen. Autorisierte deutsche Übersetzung von Mangold. 1910.

Jensen, P. Über den Geotropismus niederer Organismen. Archiv für die gesamte Physiologie, herausgegeben von Dr. W. Pflüger. Bd. 53. 1893.

Klebs, G. Flagellatenstudien. II. Zeitschrift für wissenschaftl. Zoologie. Bd. 55. 1893.

Loeb, J. Der Heliotropismus der Tiere. Würzburg 1890.

Massart, J. Recherches sur les organismes inférieurs (1). Bulletins de l'Académie Royale des sciences . . . de Belgique. 1891. III. Série. T. XXII.

Moewes, F. Leuchtwasser in Japan. Naturwissenschaftl. Wochenschrift. Neue Folge. Bd. 15. 1916.

Molisch, H. (I). Über den Goldglanz von Chromophyton Rosanoffii (Woronin). Sitzber. d. Math.-Naturw. Klasse d. Kais. Akademie d. Wiss. Bd. 110. Abt. I. 1901.

Molisch, H. (II). Leuchtende Pflanzen. Jena 1904.

Nägeli, N. Die Bewegung im Pflanzenreiche. Beiträge zur wissenschaftl. Botanik. II. Heft. 1860.

Oltmanns, F. Morphologie und Biologie der Algen. Bd. I. 1904.

Pascher, A. (I). Über Rhizopoden und Palmellastadien bei Flagellaten. Archiv für Protistenkunde. Bd. 25. 1912.

Pascher, A. (II). Die Süßwasserflora Deutschlands, Österreichs und der Schweiz. Heft 2. Flagellatae II. Teil. Jena 1913.

Pfeffer, W. (I). Locomotorische Richtungsbewegungen durch chemische Reize. Untersuchungen aus dem Botan. Institut zu Tübingen. Bd. I. 1881-85.

Pfeffer, W. (II). Über chemotaktische Bewegungen von Bakterien, Flagellaten und Volvocineen. Untersuchungen aus dem Botan. Institut zu Tübingen. Bd. II. 1886-88.

Pringsheim, E. G. Die Reizbewegungen der Pflanzen. Berlin 1912.

Schwarz, F. Der Einfluß der Schwerkraft auf die Bewegungsrichtung von Chlamydomonas und Euglena. Berichte der Deutsch. Botan. Ges. Bd. II. 1884.

Senn, G. Chrysomonadineae. In: Natürliche Pflanzenfamilien, herausgegeben von A. Engler und K. Prantl. 1. Teil. 1. Abteilung. a. 1900.

Straßburger, E. Wirkung des Lichtes und der Wärme auf Schwärmsporen. Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaft. Bd. XII. 1878 (auch selbständig Jena 1878).

Verworn, M. (I und II). Die polare Erregung der Protisten durch den galvanischen Strom. Archiv für die gesamte Physiologie, herausgegeb. von Dr. W. Pflüger. Bd. 45/1889. — Bd. 46/1890.

Verworn, M. (III). Allgemeine Physiologie. Jena 1903.

Woronin, M. Chromophyton Rosanoffii. Botan. Zeitung 1880.

Lebenslauf.

Ich, Erwin Lothar Bruck, Sohn des Redakteurs Dr. Sylvius Bruck, bin am 17. April 1899 in Kopenhagen geboren, preußischer Staatsangehörigkeit und evang. Konfession. Ich besuchte das Gymnasium zu St. Maria Magdalena und das Johannes-Gymnasium in Breslau, an dem ich Ostern 1918 das Reifezeugnis erhielt. An der Universität Breslau studierte ich Naturwissenschaften, insbesondere Zoologie und Botanik. — Meine akademischen Lehrer waren: Baumgartner, Beutell, Biltz, Cloos, Doflein, Herz, Koehler, Koschmieder, Kühnemann, Lummer, Milch, Pax sen., Pax jun., Rohde, Rosen, Sachs, Schur, Winkler.

Zu besonderem Danke bin ich den Herren Geheimrat Professor Dr. Doflein und Geheimrat Professor Dr. Pax verpflichtet für die freundliche Förderung, die sie mir bei meinen Studien stets zuteil werden ließen.